UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

"EVALUACIÓN POR MÉTODOS NO CONVENCIONALES DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS DEL DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA DE SAN MARTÍN - REGIÓN DE SAN MARTÍN"

TESIS

PRESENTADA PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

POR:

BACH. ARNOLD ALFONSO RAMIREZ FLORES

ASESOR. ING VICTOR HUGO SANCHEZ MERCADO

MORALES – PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

"EVALUACIÓN POR MÉTODOS NO CONVENCIONALES DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS DEL DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA DE SAN MARTÍN - REGIÓN DE SAN MARTÍN"

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

Por:

BACH. ARNOLD ALFONSO RAMIREZ FLORES

SUSTENTADA Y APROBADA ANTE EL HONORABLE JURADO

Presidente : ING. MSC. VICTOR EDUARDO SAMAME ZATTA .....

Secretario : ING. ERNESTO ELISEO GARCÍA RAMIREZ .....

Miembro : ING. MAXIMO ALCIBIADES VILCA COTRINA .....

Asesor : ING. VICTOR HUGO SANCHEZ MERCADO .....

DECLARACIÓN JURADA

Yo, ARNOLD ALFONSO RAMÍREZ FLOREZ identificado(a) con DNI N° 71228275, domicilio legal JR. SAN MIGUEL Nº 470, a efecto de cumplir con las Disposiciones Vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, **DECLARO BAJO JURAMENTO**, que todos los documentos, datos e información de la presente tesis y/o Informe de Ingeniería, son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las Normas Académicas de la Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto.

Tarapoto, 05 de DICIEMBRE del 2017.

Firma

Huella Digital

Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis

1. **Datos del autor:**

Apellidos y nombres: RAMÍREZ FLORES ARNOLD ALFONSO	
Código de alumno : 093119	**Teléfono:** 960337379
Correo electrónico : pochox9@hotmail.com	**DNI:** 71228275

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

2. **Datos Académicos**

Facultad de: INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA	
Escuela Profesional de: INGENIERÍA CIVIL	

3. **Tipo de trabajo de investigación**

Tesis	(X)	Trabajo de investigación	( )
Trabajo de suficiencia profesional	( )		

4. **Datos del Trabajo de investigación**

Título : «EVALUACION POR MÉTODOS NO CONVENCIONALES DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS DEL DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA SAN MARTÍN - REGIÓN SAN MARTÍN»
Año de publicación: 2017

5. **Tipo de Acceso al documento**

Acceso público *	(X)	Embargo	( )
Acceso restringido **	( )		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

6. **Originalidad del archivo digital.**

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons,* con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12º del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI **"Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".**

.....

Firma del Autor

8. Para ser llenado por la Biblioteca Central

Fecha de recepción del documento por el Sistema de Bibliotecas:

01 / 12 / 2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN TARAPOTO
UNIDAD DE BIBLIOTECA CENTRAL

.....

Prof. Alicia Mercedes Grández Chávez
JEFE DE LA UNIDAD DE BIBLIOTECA CENTRAL

.....

Firma de Unidad de Biblioteca

***Acceso abierto**: uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

** **Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres por haber asumido la responsabilidad de mi educación, por el impulso y consejos para el término de mi tesis, a mi familia.

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por darnos la vida y poder iluminarnos en cada paso que damos en toda esta etapa universitaria , a mis padres por haber asumido la responsabilidad de mi educación, por el impulso y consejos para el término de mi tesis, y un agradecimiento especial a todas aquellas personas que brindaron su apoyo en la realización de este trabajo:

Al Ing. Victor Hugo Sanchez Mercado , por su invalorable asesoría.
Al apoyo del técnico de suelos del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos de la Universidd Nacional de San Martin, por haber brindado las facilidades necesarias y proporcionado el apoyo técnico, sin la cual no hubiera sido posible la realización de este trabajo.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE GRÁFICOS

ÍNDICE DE TABLAS

RESUMEN

La resistividad eléctrica de los geomateriales es una característica que ha sido utilizada en las técnicas de exploración geoeléctrica empleada frecuentemente en la prospección de aguas subterráneas, y en forma más limitada en geotecnia. Este trabajo surge como respuesta a la necesidad de avanzar en el conocimiento de la relación entre resistividad eléctrica y características de los geomateriales. La investigación ha sido concentrada a los suelos derivados de de un área de la localidad de morales, a partir de sondeos eléctricos verticales (SEV), ensayos de penetración estándar y ensayos de caracterización en laboratorio.

Los resultados de esta investigación pueden servir como guía a profesionales de la ingeniería y a estudiantes de pregrado y postgrado interesados en las aplicaciones geofísicas en el área de la geotecnia.

La determinación de las características y propiedades del suelo es esencial en el diseño y construcción de cualquier obra civil. En este estudio se ha propuesto investigar la técnica de resistividad eléctrica como una herramienta para determinar las propiedades del suelo, considerando que son rápidas, no destructivas y de costos adecuados, en comparación a los métodos convencionales. Mediante un ensayo experimental se midió la resistividad del suelo. En esta investigación se identificaron varias relaciones entre la resistividad (ρ) y las propiedades geotécnicas del suelo, tales como: el tamaño de las partículas, relación de vacíos, porosidad y límites de Atterberg (LL, LP e IP) en pruebas *in situ*. Mientras tanto, mediante ensayos de laboratorio se estableció varias correlaciones con diferentes contenidos de humedad (w) y pesos específicos (γ) bajo condiciones sueltas y compactas, en total se efectuaron 20 mediciones de resistividad. Además, se determinaron resistividades óptimas como parámetros de control en mediciones de campo, La resistividad del suelo ha demostrado ser un buen predictor indirecto de diversas propiedades del suelo.

Palabras claves: métodos no convencionales, caracterización de suelos.

ABSTRACT

The electrical resistivity of geomaterials is a feature that has been used in then geoelectric exploration techniques frequently used in groundwater prospecting, and in a more Límited geotechnical form. This work emerges as a response to the need to advance the knowledge of the relationship between electrical resistivity and characteristics of geomaterials. The research has been concentrated to soils derived from an area of the locality of Morales, from vertical electrical surveys (SEVs), standard penetration tests and laboratory characterization tests.

The results of this research can be use as a guide for engineering professionals and undergraduate and graduate students interested in geophysical applications in the area of geotechnics.

Determination of soil characteristics and properties is essential.

The design and construction of any civil works. In this study it has been proposed to investigate the technique of electrical resistivity as a tool to determine soil properties, there are no destructive and adequate costs, compared with conventional methods. The soil resistivity was measured by an experimental test. In this research, several relationships between the resistivity (ρ) and the geotechnical properties of the soil, such as: particle size, void ratio, porosity and Atterberg (LL, LP and IP) in on site test. Meanwhile, several correlations with different moisture contents (w) and specific weights (γ) were established by means of laboratory tests under loose and compact conditions, in total 20 measurements of resistivity were made. In addition, the resolution of control parameters in field measurements was determined. Soil resistivity has been shown to be a good indirect predictor of various soil properties.

Keywords: non-conventional methods, soil characterization

I. INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

Las propiedades y características del suelo son una de las principales preocupaciones de los ingenieros civiles, debido a que soportan el peso de las estructuras, siendo de vital importancia para el diseño y construcción de las obras ingenieriles. Tradicionalmente, se han utilizado los métodos geotécnicos en la determinación de las propiedades del suelo, lo que implica extensa carga de trabajo y altos costos económicos, siendo además invasivos a su entorno natural.

Los ensayos geotécnicos bajo condiciones de laboratorio nos permiten determinar de manera directa varias propiedades básicas del suelo como: el tamaño de las partículas de suelo, contenido de humedad, peso específico, gravedad específica de los sólidos, la resistencia, etc. Pero presentan limitaciones cuando se tiene una gran cantidad de muestras, los procedimientos a realizar tienden a ser tediosos, demorados y repetitivos. También, puede destacarse la alteración de las propiedades del suelo durante la toma de muestras.

Mientras tanto, para las pruebas de campo como los ensayos de penetración, perforaciones y calicatas, también se presentan inconvenientes debido a que se necesitan equipos voluminosos y pesados, afectando considerablemente en los costos del proyecto y en los tiempos de ejecución, especialmente en terrenos montañosos. Además, la escala de los ensayos *in situ* no alcanza a representar todo el macizo de suelo, lo que debe tomarse en cuenta en su interpretación y extrapolación de resultados (González de Vallejo *et al*., 2002). Por tal razón, para resolver o minimizar estos problemas se necesita de técnicas alternativas que nos proporcionen información adicional a los métodos convencionales. El subsuelo en la naturaleza presenta diferentes propiedades físicas, impidiéndonos generalizar las características de una zona a pesar de pertenecer a la misma formación geológica, siendo más evidente en proyectos específicos.

En general, los estudios de factibilidad en proyectos de obras civiles se basan mayoritariamente en exploraciones del subsuelo poco detalladas. Los trabajos *in situ* representan un punto crítico en la estimación de costos debido a la insuficiente investigación de los estudios geológico-geotécnicos sufriendo demoras por esta causa.

Por lo tanto, los estudios en muchas ocasiones quedan incompletas, los cuales necesitan ser complementados mediante métodos indirectos representados por técnicas geofísicas. Cabe mencionar que estas nuevas técnicas no son un sustituto de los métodos directos en la evaluación de un sitio determinado.

1.2. EXPLORACIÓN PRELIMINAR DE LA INVESTIGACIÓN

Con el presente trabajo se logrará conocer la característica del suelo, la cual indica el tipo de suelo del lugar, es decir podemos tener un amplio conocimiento de que tipo de suelo es y su funcionamiento en el ámbito de la ingenieria, con la aplicación del método, podemos optimizar tiempo para realizar estudios.

En la localidad de Morales, provincia de San Martin, el crecimiento poblacional aumenta cada día de una manera acelerada generando un crecimiento desmesurado que conlleva a construir edificaciones sin el mínimo cumplimiento de las norma técnica de edificación (E.050 suelos y cimentaciones), exponiendose a serios problemas de estabilidad de las edificaciones , y con la generación posterior de gastos exagerados para el reforzamientos de las cimentaciones de las viviendas.

Por lo tanto en una construcción, un componente indispensable es el estudio de mecánica de suelos, puesto que guiará a que las estructuras se apoyen en suelos de características competentes y con el sistema de cimentación más apropiado para que las cargas se transmitan al suelo de manera óptima.

Los estudios de suelos en edificaciones permiten establecer el diseño y construcción de las cimentaciones (zapatas, pilotes, etc) en las cuales se apoyan todas las edificaciones mediante la interacción suelo-estructura existente, pues, se debe realizar siempre un estudio serio y confiable sobre la cual se edificará.

En caso que no se realizaran los estudios de suelos con el tiempo pueden tener problemas, los cuales son muy difíciles de reparar estando ya la edificación terminada. Realzar un estudio de suelos preliminar, permite identificar las zonas más adecuadas para la construcción, con valores destacados de capacidad de carga del suelo y de hecho posibilita descartar zonas específicas con suelos de pobre características y en

su defecto asignarlos para áreas verdes o espacios recreacionales, en vista que en zonas de parques no se requiere valores importantes de capacidad de carga del suelo.

El hecho de no realizar un estudio de mecánica de suelos y permitir que el ingeniero encargado del diseño estructural asuma los parametros geotecnicos a su criterio es una falla grave, y por ningún motivo sera un ahorro económico, más bien es un caso de mala fortuna puede llevar a provocar fracturas o agrietamientos en la edificación, así como problemas serios de estabilidad de la estructura principal de una edificación.

1.3. ASPECTOS GENERALES DEL ESTUDIO

1.3.1. UBICACIÓN Y LÍMITE DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL ESTUDIO

Asociando la ubicación del lugar de estudio de la localidad de Morales, se tiene que sus coordenadas geográficas son:

Ubicación geográfica Del Proyecto

Latitud Sur	6° 28' 46.75"
Longitud Oeste	76° 22' 44.34"
UTM Norte Y	9283566
UTM Este X	347513
Altitud	313 msnm.

Figura N° 01: Ubicación del proyecto

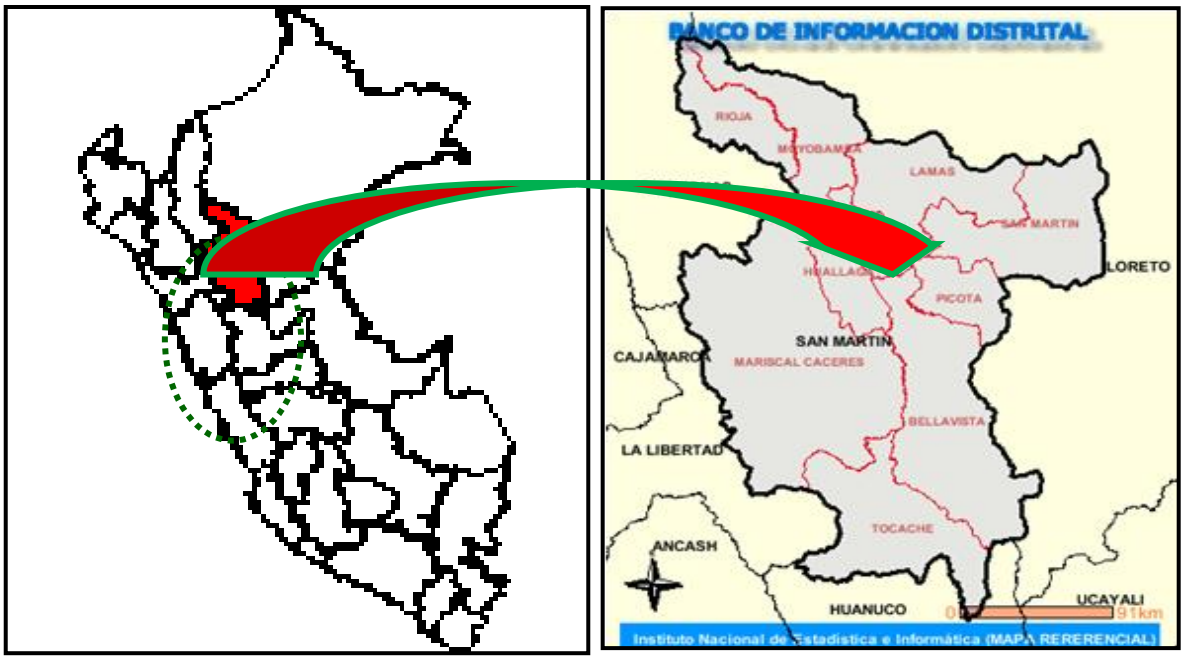


Figura N° 02: Ubicación de la zona donde se realizará el estudio en el distrito de Morales

1.3.2. POBLACIÓN BENEFICIADA

La población beneficiada se encuentra ubicada en el Departamento de San Martín, Provincia de San Martín, Distrito Morales.

La población objetivo del Proyecto está constituida por mas de 100 viviendas en el sector de estudio.

1.3.3. CARACTERÍSICAS DEL AREA DE ESTUDIO

1.3.3.1 **Características Físicas:**

El área de estudio se encuentra dentro del casco urbano de la localidad de morales, del distrito de Morales, en una zona densamente poblada. Los jirones donde se realizaron las calicatas y el estudio respectivo son calles que dan acceso y conectando con otras vías de la localidad. Las calles no cuentan con pavimento, constituyendo una dificultad para el tránsito vehicular, asimismo no cuentan con veredas adecuadas dificultando el tránsito peatonal.

Clima.

"La temperatura media anual en las ciudad de Morales es de 33.3° C. El clima predominante de las ciudades de Morales es cálido y semi-seco", sin exceso de agua durante el año y con una concentración térmica normal en verano.

Temperatura

La temperatura en los 03 distritos tiene una media anual de 33.3º C, con máximas que llegan a 38.8º C. La altitud de la zona urbana varía desde los 240 m.s.n.m. hasta los 520 m.s.n.m. El promedio de precipitación anual es de 1,094 mm (INDECI).

Sin embargo se tienen reportes proporcionados por SENAMHI con temperaturas máximas de 38.8 grados en el mes de setiembre del 2010 lo que generó una sensación térmica de 45°C.

Precipitación

El promedio de precipitación pluvial total anual de este tipo climático "cálido y semi-seco", donde está ubicada la ciudad de Morales, varía entre los 1094 y 1400 mm, con promedio de 1213 mm. En general, las mayores precipitaciones se presentan entre los meses de Octubre (a veces Setiembre) y abril, siendo siempre Marzo el que registra el valor más elevado. El número de días de lluvia a lo largo del año en esta zona, varía entre 88 y 116. El número de días de lluvia al mes, varía entre un mínimo de 6 y un máximo de 13. Finalmente, el promedio de precipitación por día de lluvia varía entre un mínimo de 9 mm. y un máximo de 13 mm; sin embargo los registros de precipitación máxima en 24 horas alcanzan valores que oscilan entre 87 mm y 170 mm. Siendo la

precipitación media anual en la ciudad de Morales de 1213 mm.

Las precipitaciones pluviales, anuales, siempre son superiores a 1000 mm sin sobrepasar los 5000 mm. La humedad atmosférica es alta durante todo el año igual que la evapotranspiración.

Las áreas que se cubren con mayor frecuencia de nubes son los cerros al este de Morales y el frente Oriental de la Faja Sub-andina que se comporta como barreras de contención de los vientos que desplazan las nubes desde el este.

Humedad Relativa

La estación de Morales tiene una media anual de 77% de humedad relativa; variando de acuerdo al ciclo de lluvia.

Vientos

Este factor climático presenta una característica especial dentro de la zona en estudio: La estación de Morales, registra vientos persistentes de dirección Norte de velocidad media de 3.2 Km./hora y, en menor porcentaje de dirección Sur con velocidad media de 6.3 Km. /hora, durante todo el año. No se descarta, la ocurrencia esporádica de vientos fuertes y acompañados por fuertes precipitaciones, de consecuencias funestas.

Fisiografía

El distrito de Morales se encuentran asentados fisiográficamente en Laderas Moderadamente Empinadas, presentando ondulaciones y pendientes moderadas, la zona de estudio es relativamente plana, sin embargo existen zonas diferenciadas altitudinalmente, las mismas que generan el discurrimiento acelerado de las aguas pluviales hacia las zonas bajas de la ciudad, generando perjuicios por erosión e inundaciones sobre las viviendas.

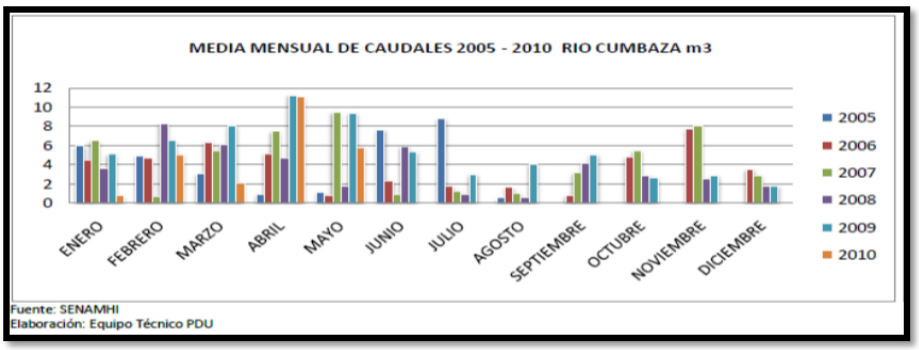
Hidrología

La ciudad de Morales se encuentra ubicada en la red hidrográfica de la cuenca del Cumbaza. Constituida por el río Cumbaza, como eje principal, siendo sus afluentes principales por la margen izquierda el río Shilcayo y las quebradas Ahuashiyacu y

Pucayacu y por la margen derecha la quebrada Shupishiña. El caudal de estos cuerpos de agua son muy variables durante todo el año y dependen de la intensidad de las lluvias. Así mismo el cambio climático está generando variación en la intensidad y temporalidad de las precipitaciones, reportándose meses de sequía y precipitaciones no acordes a los registros históricos.

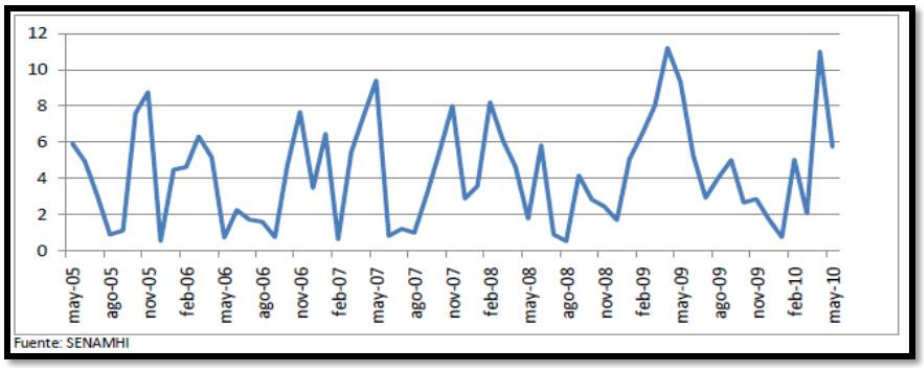
En el cuadro de Comparación de Caudales del Rio Cumbaza Marzo 2005 - Mayo 2010 se puede observar la variabilidad del caudal en los últimos cinco años, encontrado picos elevados de caudal y disminuciones importantes, tales como el mes de enero de 2010 en comparación con los años anteriores, o altas precipitaciones y caudal en el mes de julio del 2005 en comparación con los años siguientes, reflejando una pronunciada heterogeneidad del comportamiento hídrico.

Gráfico N° 01: Comparación de Caudales del Rio Cumbaza Ultimos 5 Años 2005-2010



Fuente: SENAMHI

Gráfico N° 02: Comportamiento del Rio Cumbaza Últimos 5 Años 2005-2010



Fuente: SENAMHI

II. MARCO TEÓRICO

2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Las propiedades y características del suelo son una de las principales preocupaciones de los ingenieros civiles, debido a que soportan el peso de las estructuras, siendo de vital importancia para el diseño y construcción de las obras ingenieriles. Tradicionalmente, se han utilizado los métodos geotécnicos en la determinación de las propiedades del suelo, lo que implica extensa carga de trabajo y altos costos económicos, siendo además invasivos a su entorno natural.

Ante la importancia que se presenta de conocer el tipo de suelo y la capacidad de soporte, delimitada dentro de la localidad de Morales, en el perimetro de los jirones: Jr. Oxapampa, Jr. José Gálvez, Jr. Callao, Psje. Las Flores , se hace necesario saber sobre estos datos fundamentales, para así poder detectar las posibles fallas que se generarían en el suelo donde se va a cimentar la edificación, además de permitir definir el tipo de cimentación de la misma.

Conocer la capacidad portante, la características propias del suelo, y el tipo de cimentación a usarse, permite anticipar futuros problemas que se pueden presentar, si es que no se elabora estos estudios básicos, antes de construir una edificación.

2.1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido a la fuerte migración que tiene la provincia de San Martín en general, la expansión urbana, la afluencia de turistas hacia esa zona, y por considerarse Morales una localidad en vías de desarrollo, se requiere un estudio sobre las características del suelo, en este caso usando métodos no convencionales con fines de no dañar las propiedades físicas, químicas del suelo y optimizando tiempo en el estudio, se realiza dicha investigación, información que servirá, como herramienta al municipio, no sólo para emitir una licencia de construcción, sino también para aportar los datos necesarios para la construcción de una edificación. Estos datos obtenidos en un laboratorio, que se basan en un estudio de mecánica de suelos, estudios que a veces no se logran hacer, debido al elevado costo económico que éste demanda.

2.1.3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

En esta investigación se presentan las siguientes delimitaciones:

El estudio se realizó en un sector que delimitado en la localidad de Morales, distrito de Morales, provincia de San Martín, Región San Martin.

Limitaciones económicas, debido al estudio y exploración mediante calicatas, se requerió de mano de obra no calificada, para la excavación y obtención de muestras, el cual está supeditado a un costo elevado, de acuerdo a la cantidad de calicatas que se excavaron, y para el método de resistividad se usó el telurímetro y así poder hacer la comparación entre ambos métodos.

2.1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Bajo estas premisas, nos encontramos en la obligación de respondernos la siguiente interrogante: **¿Se logrará determinar de forma objetiva las caracteristicas fisico-mecánicas del suelo con los métodos no convencionales de caracterización de suelos en el área de estudio delimitada dentro de la localidad de Morales, en el perímetro de los jirones: Jr. Oxapampa, Jr. José Gálvez, Jr. Callao, Psje. Las Flores – provincia de San Martín - región San Martín?**

2.2. OBJETIVOS

2.2.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar las propiedades físicas de diferentes tipos de suelos delimitada dentro de la localidad de Morales, en el perímetro de los jirones: Jr. Oxapampa, Jr. José Gálvez, Jr. Callao, Psje. Las Flores, mediante el empleo de métodos de resistividad eléctrica, en el distrito de Morales – provincia de San Martin – región San Martin.

2.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Ubicar y realizar los muestreos del suelo en el área de estudio delimitada dentro de la localidad de Morales, en el perímetro de los jirones: Jr. Oxapampa, Jr. José Gálvez, Jr. Callao, Psje. Las Flores, en el distrito de Morales – provincia de San Martin – región San Martin.

Analizar la correlación entre la resistividad eléctrica y el contenido humedad de los diferentes tipos de suelo del área de estudio, empleando el metodo de medición de ondas de corte.

Analizar la correlación entre la resistividad eléctrica y el peso específico de los diferentes tipos de suelo del área de estudio.

2.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Justificación Teórica: el presente trabajo se basó en obtener la característica del suelo mediante el método de resistividad efectiva, mediante estudios de mecánica suelos, que permitió conocer las características propias del suelo.

Justificación Práctica: Se realizaró en en la localidad de Morales en un período a corto plazo con un presupuesto económico, los ensayos de laboratorio, se obtuvieron a través de exploraciones que se hicieron al suelo, en determinados lugares, según las normas vigentes a las cuales está sujeto estos estudios y de la geología de la zona, y esos datos se compararon con los obtenidos por el método de Werner, Dicha información servirá a la población para la construcción de sus viviendas de forma segura.

2.4. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo de investigación está delimitado dentro de la localidad de Morales, en el perímetro de los jirones: Jr. Oxapampa, Jr. José Gálvez, Jr. Callao, Psje. Las Flores.

2.5. MARCO TEÓRICO

2.5.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Para la elaboración del presente proyecto se ha revisado material bibliográfico y trabajos anteriores, que permite tomar nota de antecedentes y resultados, que deben considerarse para los fines más convenientes, siendo como sigue:

Juárez Badillo y Rico Rodríguez en su libro de Fundamentos de la Mecánica de Suelos, proporciona un amplio tema de consulta, desde el origen del suelo, propiedades, comportamiento entre otros temas importantes para la investigación.

Tesis con el fin de cumplir los requisitos de maestría en ingeniería geotecnia, escuela de ingeniería civil, geotécnica – relaciones geo eléctricas, presentado por: Daniel Eduardo Arias, Medellín – Colombia, febrero, 2011, Universidad Nacional de Colombia.

Empleo del método geofísico Tomografía de Resistividad Eléctrica para la ubicación de un sitio de recarga de acuífero en Xochimilco, tesis para obtener el título de ingeniero

geofísico, presentado por JOSÉ ANTONIO BARRERA MENDOZA, Universidad Nacional de México.

Comportamiento de la resistividad eléctrica de los suelos ante variaciones de humedad y grado de compactación, Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Civil, AUTOR: Javier Alvaro Cuñez Uvidia, Cuenca - Ecuador, Universidad de Cuenca.

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, facultad de ciencias físicas, diseño y ejecución de una puesta a tierra de baja resistencia, para optar el título de licenciado en física, por Wilbert Rene Qqueshuayllo cancha, Lima – Perú 2005.

Rocha Sandoval en su trabajo de investigación ha determinado la Zonificación de la capacidad portante del suelo del distrito de Morales, en el año 2010.

Jiménez Flores también ha determinado la Zonificación de la capacidad portante del suelo del distrito de la Banda de Shilcayo, en el año 2011.

Herrera Delgado, ha investigado una "Metodología para la determinación de la capacidad portante del suelo para la cimentación de una vivienda unifamiliar, en el año 2010.

Córdova Flores, también ha efectuado un trabajo sobre "Metodología para la determinación de la capacidad portante del suelo para la cimentación del proyecto de la I.E N° 0101 Luis Walter Alvarado Bartra, Distrito - Chazuta, en el año 2010.

2.5.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.5.2.1. Definición De Suelo

En el sentido general de la ingeniería, "*suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido* y gas que ocupan los espacios vacíos entre las partículas sólidas".

La palabra Suelo, representa todo tipo de material terroso, desde un relleno de desperdicio, hasta areniscas parcialmente cementadas o lutitas suaves. El agua

contenida juega un papel tan fundamental en el comportamiento mecánico del suelo, que debe considerarse como parte integral del mismo.

Suelo, en Ingeniería Civil, son los sedimentos no consolidados de partículas sólidas, fruto de la alteración de las rocas, o suelos transportados por agentes como el agua, hielo o viento con contribución de la gravedad como fuerza direccional selectiva, y que pueden tener materia orgánica. El suelo es un cuerpo natural heterogéneo.

El suelo en ingenieria civil, es un cuerpo heterogéneo con propiedades fisico-quimicas y mecánicas apropiadas o no para una construcción (edificios, represas, hidroelectricas, puentes, carreteras, etc.), cuya función es sostener a la construción y absorver las cargas producidas por esta.

2.5.2.2. Mecánica de Suelos

Terzaghi dice: *La mecánica de suelos es la aplicación de las leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas de ingeniería que tratan con sedimentos y otras acumulaciones no consolidadas de partículas sólidas, producidas por la desintegración mecánica o la descomposición química de las rocas, independientemente de que tengan o no materia orgánica*.

La mecánica de suelos incluye:

Teorías sobre el comportamiento de los suelos sujetas a cargas, basadas en simplificaciones necesarias dado el estado actual de la teoría.

Investigación de las propiedades físicas de los suelos.

Aplicación del conocimiento teórico y empírico de los problemas prácticos.

Guia de mecánica de suelo I-UNSM menciona: En Mecánica de Suelos (MS) estudia las propiedades y comportamiento del suelo, se lo utiliza como material de construcción o soporte de estructuras (terreno de fundación), básicamente de cimentaciones que son los elementos que transmiten las cargas de la estructura al terreno. Se sirve de la

recolección y análisis de muestras, para luego obtener sus resultados y determinación de sus características físicas, mecánicas y la reacción de masas de suelos durante la aplicación rápida de cargas, las cuales serán aplicadas en los diseños de las distintas obras de ingeniería.

2.5.2.3. Relaciones Volumétricas y Gravimétricas

En un suelo se distinguen tres fases constituyentes: sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida está formada por las partículas minerales del suelo (incluyendo la capa sólida adsorbida). La fase líquida formada por el agua libre específicamente, aunque en el suelo pueden existir otros líquidos de menor significación. La fase gaseosa comprende sobre todo el aire, pero pueden estar presentes otros gases (vapores sulfurosos, anhídrido carbónico, etc.)

Las fases líquida y gaseosa del suelo suelen comprenderse en el volumen de vacíos (V_v), mientras que la fase sólida constituye el volumen de sólidos (V_s). Se dice que un suelo es totalmente saturado cuando todos sus vacíos están ocupados por agua. Un suelo en tal circunstancia consta, como caso particular de solo dos fases, sólida y líquida.

Es importante considerar las características morfológicas de un conjunto de partículas sólidas, en un medio fluido. Las relaciones entre las diferentes fases constitutivas del suelo (sólida, líquida y gaseosa), permiten avanzar sobre el análisis de la distribución de las partículas por tamaños y sobre el grado de plasticidad del conjunto.

En los laboratorios de mecánica de suelos puede determinarse fácilmente el peso de las muestras húmedas, el peso de las muestras secadas al horno y la gravedad específica de las partículas que conforman el suelo, entre otras.

2.5.2.4. Distribución del Tamaño de Partículas

De acuerdo al tamaño predominante de partículas que contenga el suelo, los suelos generalmente son llamados: grava, arena, limo, arcilla o una mezcla de ellos.

Tabla N° 01: Sistemas para identificar el tamaño de partículas del suelo (Das, 1998).

NOMBRE DE LA ORGANIZACIÓN	TAMAÑO DE PARTÍCULAS en mm			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Massachusetts Institute of Tecnology (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	< 0.002
U.S. Department of Agriculture (USDA)	>2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	< 0.003
American Association of State Highway and Transportation (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	< 0.004
Unified Soil Clasification System (US)	75 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (limos y acrcillas) < 0.075	

Diversas organizaciones que estudian aspectos relacionados con el suelo han elaborado sistemas de clasificación para identificar el tamaño de las partículas de un suelo para sus propósitos específicos. En la Tabla 1 se muestra algunos de los sistemas más conocidos empleados por estas organizaciones para identificar las partículas del suelo.

2.5.2.5. Clasificación De Suelos

Debido a la gran variedad de suelos que pueden encontrarse en la corteza terrestre es que se han desarrollado varios sistemas de clasificación para poder identificarlos, elaborados de acuerdo a la aplicación que se les da a los mismos. El clasificar un suelo consiste en agrupar al mismo en grupos y/o subgrupos de suelos que presentan un comportamiento semejante con propiedades ingenieríles similares.

En este capítulo se analizó el sistema de clasificación Unificado SUCS y el sistema de clasificación AASHTO, que son los sistemas de clasificación más utilizados por la mayor parte de los ingenieros de todo el mundo.

Sistema de clasificación unificado (SUCS).

El sistema de clasificación SUCS está basado en la determinación en laboratorio de la distribución del tamaño de partículas, el límite líquido y el índice de plasticidad. Este sistema de clasificación también se basa en la gráfica de plasticidad, que fue obtenida por medio de investigaciónes realizadas en laboratorio por A. Casagrande (1932). Este sistema de clasificación presenta las siguientes características:

<u>Características del sistema de clasificación unificado (ASTM D-2487</u>

Clasifica a los suelos en cuatro principales categorías, cada una de estas categorías usa un símbolo que define la naturaleza del suelo:

Suelos de grano grueso. Son de naturaleza tipo grava y arena con menos del 50% pasando por el tamiz Nº 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo G para la grava o suelo gravoso del inglés “Gravel” y S para la arena o suelo arenoso del inglés “Sand”.

Suelos de grano fino. Son aquellos que tienen 50% o más pasando por el tamiz Nº 200. Los símbolos de grupo comienzan con un prefijo M para limo inorgánico del sueco “mo y mjala”, C para arcilla inorgánica del inglés “Clay”

.

Suelos orgánicos. Son limos y arcillas que contienen materia orgánica importante, a estos se los denomina con el prefijo O del inglés “Organic”.

Turbas. El símbolo Pt se usa para turbas del inglés “peat”, lodos y otros suelos altamente orgánicos.

Presenta las siguientes definiciones, según el tamaño y naturaleza de las partículas del suelo:

Cantos rodados. Partículas de roca que no pasan una malla con abertura cuadrada de 12” (300 mm).

Guijarros. Partículas de roca que pasan una malla con abertura cuadrada de 12” (300 mm) y quedan retenidas en un tamiz de 3” (75 mm).

Grava. Partículas de roca que pasan el tamiz de 3" (75 mm) y quedan retenidas en el tamiz Nº 4 (4.75 mm), con las siguientes subdivisiones:

Gruesa. Partículas que pasan el tamiz de 3” (75 mm) y quedan retenidas en el tamiz de ¾” (19 mm.).

- Fina. Partículas que pasan el tamiz de ¾” (19 mm) y quedan retenidas en el tamiz Nº 4 (4.75 mm).

Arena. Partículas de roca que pasan el tamiz Nº 4 (4.75 mm) y son retenidas en el tamiz Nº 200 (0.075mm), con las siguientes subdivisiones:

Gruesa. Partículas que pasan el tamiz Nº 4 (4.75 mm) y son retenidas en el tamiz Nº 10 (2 mm).
Media. Partículas que pasan al tamiz Nº 10 (2 mm.) y son retenidas en el tamiz Nº 40 (0.425 mm).
Fina. Partículas que pasan el tamiz Nº 40 (0.425 mm) y son retenidas en el tamiz Nº 200 (0.075 mm).
Arcilla. Suelo que pasa por el tamiz Nº 200 (0.075 mm), el cual exhibe plasticidad dentro de un cierto intervalo de humedad, pero que muestra considerable resistencia cuando se seca al aíre.
Limo. Suelo que pasa el tamiz Nº 200 (0.075 mm), de naturaleza no-plástica o ligeramente plástica y que exhibe poca o ninguna resistencia cuando se seca al aíre.
Arcilla Orgánica. Es una arcilla con suficiente contenido de matera orgánica como para influir en las propiedades del suelo.
Limo Orgánico. Es un limo con suficiente contenido de materia orgánica como para influir en las propiedades del suelo.
Turba. Es un suelo compuesto principalmente de materia vegetal en diferentes estados de descomposición, usualmente con olor orgánico, color entre marrón oscuro a negro, consistencia esponjosa, y contextura que varía de fibrosa hasta amorfa.

Para este sistema de clasificación son también usados sufijos que identifican algunas características particulares del suelo:

W. Bien gradado del inglés “Well graded”.
P. Mal gradado del inglés “Poorly graded”.
L. Baja plasticidad, límite líquido menor a 50%, del inglés “Low plasticity”.
H. Alta plasticidad, límite líquido mayor a 50%, del inglés “High plasticity”.

Un símbolo doble. Corresponde a dos símbolos separados por un guión, e.g. GP-GM, SW-SC, CL-ML, los cuales se usan para indicar que el suelo tiene propiedades

de dos grupos. Estos se obtienen cuando el suelo tiene finos entre 5 y 12% o cuando las coordenadas del límite líquido y el índice de plasticidad caen en el área sombreada CL-ML de la carta de plasticidad. La primera parte del doble símbolo indica si la fracción gruesa es pobremente o bien gradada.

Sistema de clasificación AASHTO**.**

El sistema de clasificación AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) (Designación ASTM D-3282; método AASHTO M145) es uno de los primeros sistemas de clasificación de suelos, desarrollado por Terzaghi y Hogentogler en 1928. Este sistema pasó por varias revisiones y actualmente es usado para propósitos ingenieríles enfocados más en el campo de las carreteras como la construcción de los terraplenes, subrasantes, subbases y bases de las carreteras. Sin embargo es necesario recordar que un suelo que es bueno para el uso de subrasantes de carreteras puede ser muypobre para otros propósitos.

<u>Características del sistema de clasificación AASHTO (ASTM D- 3282).</u>

Clasifica a los suelos en tres principales categorías:
Suelos granulares. Son suelos cuyo porcentaje que pasa el tamiz Nº 200 es menor o igual al 35% del total de la muestra. Estos suelos constituyen los grupos A-1, A-2 y A-3.
Suelos limo-arcilla o material fino. Son suelos cuyo porcentaje que pasa el tamiz Nº 200 es mayor al 35% del total de la muestra. Estos suelos constituyen los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7.
Suelos orgánicos. Son los suelos que están constituidos principalmente por materia orgánica. Este tipo de suelos constituye el grupo A-8.

Cantos rodados. Son fragmentos de roca, usualmente redondeados por abrasión, que son retenidos en el tamiz de 3‖ (75 mm).

Grava. Es la fracción que pasa el tamiz de 3‖ (75 mm) y es retenido en el tamiz Nº 10 (2 mm).

Arena. Es la fracción que pasa el tamiz Nº 10 (2 mm) y es retenido en el tamiz Nº 200 (0.075 mm).

El limo y la arcilla. Son partículas que pasan el tamiz Nº 200 (0.075 mm).
Establece un rango del índice de plasticidad que diferencia a los suelos limosos de los suelos arcillosos.

El término limoso es aplicado a la fracción fina del suelo que tiene un índice de plasticidad de 10 o menos.

El término arcilloso es aplicado cuando la fracción fina tiene un índice de plasticidad de 11 o más.

Considera solo la porción de suelo que pasa a través del tamiz de 75 mm. Si existieran partículas mayores (guijarros y cantos rodados), estas son excluidas de la muestra de suelo que será clasificado, sin embargo el porcentaje de ese material debe ser medido y anotado junto con el resultado de la clasificación.

Figura N° 03: Variación del límite líquido e índice de plasticidad para los suelos de los grupos a-2, a-3, a-4, a-5, a-6. a-7 (norma astm, 2003)

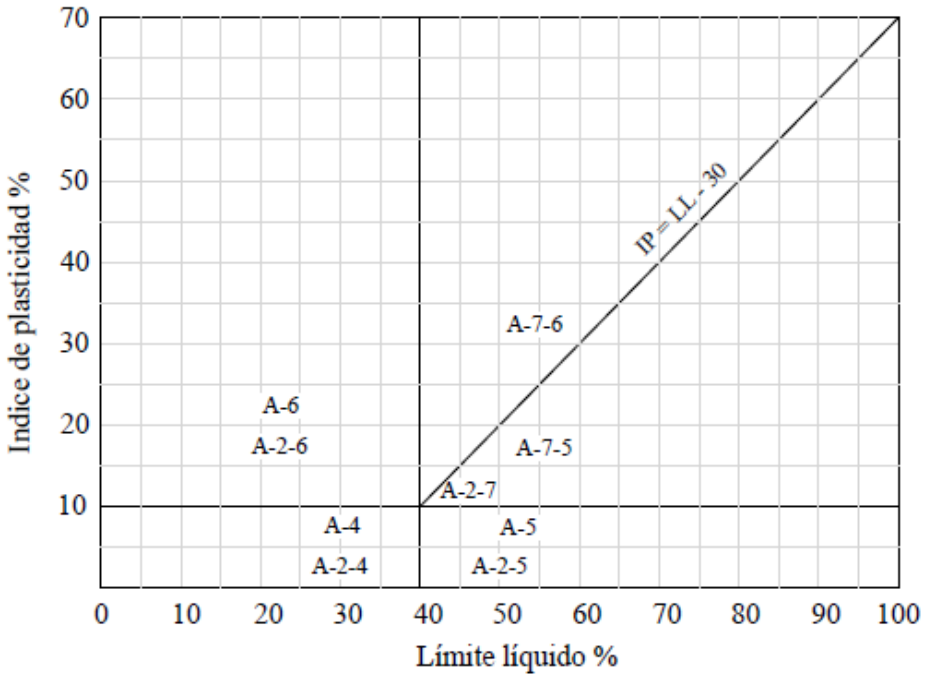


Tabla N° 02: Clasificación de los suelos sistema aashto (norma astm, 2003)

Clasificación general	**Materiales Granulares** **35% o menos del total de la muestra pasa el tamiz N° 200**						
Clasificación de grupo	***A-1***			***A-2***			
	A-1-a	***A-1-b***	***A-3***	***A-2-4***	***A-2-5***	***A-2-6***	***A-2-7***
Análisis por tamices (Porcentaje que pasa por los tamices):							
Nº 10 (2.00 mm.)	50 max						
Nº 40 (0.425 mm.)	30 max	50 max	51 min				
Nº 200 (0.075 mm.)	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max
Características de la fracción que pasa por el tamiz Nº 40							
Límite líquido				40 max	41 min	40 max	41 min
Índice de plasticidad	7 max		NP	10 max	10 max	11 min	11 min
Tipos de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de piedra, grava y arena		Arena fina	Grava o arena limosa o arcilla			
(a)							

Clasificación general	**Materiales limo - arcilla** **Mas del 35% del total de la muestra pasa por el tamiz N° 200**			
Clasificación de grupo	**A-4**	**A-5**	**A-6**	**A - 7** **A - 7 - 5[a]** **A - 7- 6[b]**
Análisis por tamices (porcentaje que pasa por el tamiz Nº 200 (0.075 mm.))	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características de fracción que pasa por Nº 40 (0.425 mm.)				
Límite líquido	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min.
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 min	11 min.
Tipos de materiales constituyentes significativos	Suelos limoso		Suelo arcillo	
Relación general como subgrado	Regular a pobre			

[a] Para A-7-5, $I_P \leq L_L - 30$
[b] Para A-7-6, $I_P > L_L - 30$

2.5.2.6. Métodos de resistividad eléctrica

La resistividad eléctrica es uno de los métodos de exploración geofísica más antiguos, siendo desarrollados a principios de 1900, aunque no fue hasta 1970 cuando se generalizó el uso de estas técnicas, debido a la carencia de tecnología apropiada para procesar y analizar los datos (Reynolds, 1997). La primera aproximación práctica de los métodos eléctricos lo desarrolló Schlumberger en 1912 al inyectar corriente al suelo mediante una fuente artificial y posteriormente en 1925 Wenner y él, idean la configuración de cuatro electrodos (tetraelectródico), base de la prospección actual. El método de resistividad eléctrica utiliza corriente continua o corriente alterna de baja frecuencia para investigar las propiedades eléctricas (resistividad) del subsuelo (Reynolds, 1997).

En el método de resistividad, las corrientes eléctricas generadas artificialmente se introducen en el suelo y las diferencias de potencial son medidas en la superficie. Las desviaciones del patrón de la diferencia de potencial esperado para un suelo homogéneo proporcionan información sobre la forma y propiedades eléctricas de las heterogeneidades subsuperficiales (Kearey, 2002). En cuanto mayor contraste eléctrico se presente entre la heterogeneidad y la matriz del suelo más fácil es la detección (Samouëlian et al., 2005). “La resistividad eléctrica de los suelos puede ser considerado como un sustituto de la variabilidad de las propiedades físicas del suelo” (Banton et al., 1997).

La resistividad es una propiedad física de un material, que describe su capacidad para resistirse al paso de la corriente eléctrica, la cual depende de la naturaleza y el estado físico del cuerpo considerado. Contrario a la resistividad, la conductividad es una medida que representa la capacidad de un cuerpo, permitir el paso de corriente eléctrica a través de él. La conducción eléctrica tiene lugar debido al movimiento de cargas, las cuales son desplazadas de la condición de equilibrio original bajo la aplicación de un potencial eléctrico. Sin embargo, la densidad de la carga depende del campo eléctrico aplicado y de la resistividad del material.

El método de resistividad eléctrica se utilizó por primera vez para la exploración de petróleo, gas y prospección de yacimientos minerales conductivos (oro), posteriormente

se encontró diversas aplicaciones en el campo de la ingeniería como, por ejemplo: la minería, agricultura, arqueología, medioambiente, hidrogeología y geotecnia (Loke et al., 2013; Siddiqui y Osman, 2012).

Los métodos de resistividad eléctrica pueden utilizarse como una importante herramienta para caracterizar las propiedades del suelo (contenido de agua, saturación, relación de vacíos, densidad) sin necesidad de excavar, por lo tanto, es más rápido y relativamente barato en comparación a los métodos geotécnicos**.**

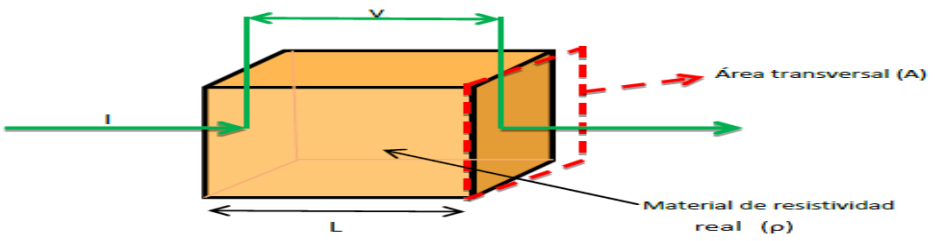
2.5.2.6.1. Principios básicos

El objetivo principal de la realización de los ensayos eléctricos es determinar la distribución de resistividades eléctricas que hay en el subsuelo mediante mediciones desde la superficie, para ello es necesario conocer algunos parámetros.

2.5.2.6.2. Resistividad real

La resistividad de un material se define como la resistencia entre las caras opuestas de un cubo unitario del material, (Kearey, 2002; Reynolds, 1997). En la Figura 2.1 se muestra un cubo eléctricamente uniforme, de longitud (**L**) a través del cual pasa una corriente (**I**), resultando así en una diferencia de potencial (**V**) entre sus caras opuestas (Reynolds, 1997).

Figura N° 04: Parámetros utilizados en la definición de la resistividad (Gabarrón, 2013)



Para un material dado la resistencia (R) es proporcional a la longitud (L) e inversamente proporcional a la sección transversal (A) del conductor. Ésta relación es expresada por la ecuación 1.

$$R=\rho/LA \qquad (1)$$

La constante de proporcionalidad (ρ) se la denomina resistividad “real” del conductor. Según el sistema de unidades elegido, la resistividad se puede medir en ohmios-metro (Ωm) u ohmios-centímetro (Ωcm). La magnitud inversa de la resistividad, σ = 1/ρ se denomina conductividad eléctrica y sus unidades están en siemens-metro (Sm/m) o siemens-centímetro (Sm/cm).

La resistencia eléctrica que presenta un conductor homogéneo viene determinada por la resistividad del material que lo constituye y la geometría del conductor. De acuerdo con la ley de Ohm la resistencia (R) del conductor se define como la relación entre la diferencia de potencial (V) para la corriente (I) aplicada, como se muestra en la ecuación 2. La resistencia se mide en ohm (Ω).

$$R=V/I \qquad (2)$$

Si se sustituye la ecuación 2 por la resistencia (R) en la ecuación 1 y reorganizamos los términos obtenemos la siguiente expresión:

$$V/L=\rho I/A \qquad (3)$$

La relación V/L puede ser expresada como campo eléctrico (E), al suponer que la gradiente de potencial es constante a lo largo de la longitud del conductor, las unidades están dadas en voltios/metros (V/m). Mientras que, la relación I/A es la corriente por unidad de área de la sección transversal del conductor y se denomina densidad de corriente (J) con sus unidades amperios/metro2 (A/m2). Ahora la ley de Ohm puede ser escrita mediante la ecuación 4:

$$E= \rho J \qquad (4)$$

Conductividad Eléctrica

La resistividad eléctrica es una propiedad física de un material que describe la habilidad para resistir el flujo de la corriente eléctrica, magnitud inversa a la conductividad eléctrica. La corriente eléctrica puede ser propagada en las rocas y minerales por medio de tres mecanismos: electrolítica, electrónica (óhmica); y conducción dieléctrica.

Conducción electrolítica.- es el transporte de electricidad por medio de una conducción iónica (por moléculas que contienen un exceso o deficiencia de electrones). Éste método de conducción en suelos y rocas es el más común donde la corriente se

mueve a través de los iones del agua de poro. La corriente fluye más lentamente que la conducción óhmica.

Conducción electrónica.- la corriente es transportada rápidamente por los electrones móviles libres en los metales. La alta conductividad de los metales, es, por lo tanto, explicado por el gran número de electrones libres en su estructura.

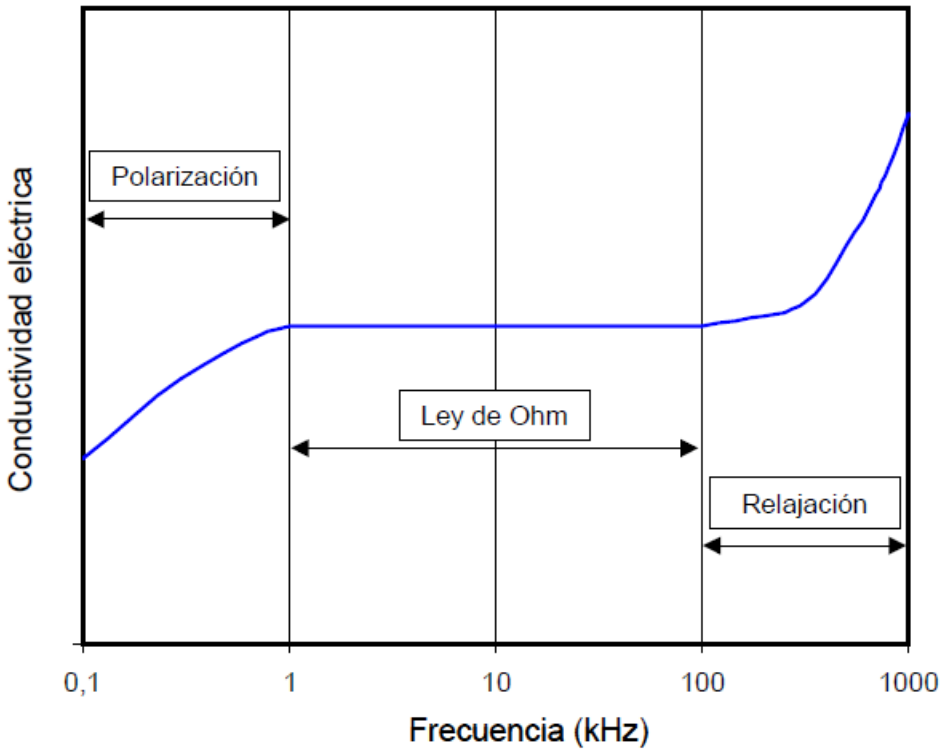
Conducción dieléctrica.- se produce en materiales aislantes, cuando es aplicada una corriente alterna externa, provocando que los electrones se desplacen ligeramente con respecto al núcleo. La conducción dieléctrica en el suelo puede ser despreciable, cuando se utiliza corriente directa (CD) o corriente alterna (CA) de baja frecuencia (Reynolds, 1997).

El fenómeno de conducción eléctrica en los materiales se da como resultado del movimiento de cargas eléctricas, desde su posición de equilibrio original bajo la aplicación de un potencial eléctrico (Aiassa, 2008). La conducción eléctrica ocurre como resultado del movimiento de los iones, las propiedades eléctricas de los suelos están principalmente controlados por el contenido de agua en los poros. Además, la conducción.

de la corriente electrolítica se ve afectado por la temperatura y la salinidad del agua de poros, (Hassan, 2014; Samouëlian et al., 2005).

En suelos gruesos los iones pueden desplazarse a través de los poros con pequeña interacción, por lo tanto, la carga superficial de las partículas es despreciable. La conducción eléctrica está gobernada principalmente por la naturaleza del fluido de los poros, relación de vacíos y grado de saturación. Mientras que la conducción eléctrica para suelos finos resulta más compleja, debido al desarrollo de doble capa difusa alrededor de las partículas de arcilla con carga superficial negativa. La doble capa difusa se divide en el denominado plano de corte, el cual separa los iones interiores de los exteriores, (Aiassa, 2008).

Figura N° 05: Curva de conductividad para suelos arcillosos (Inaldi y Cuestas, 2002).

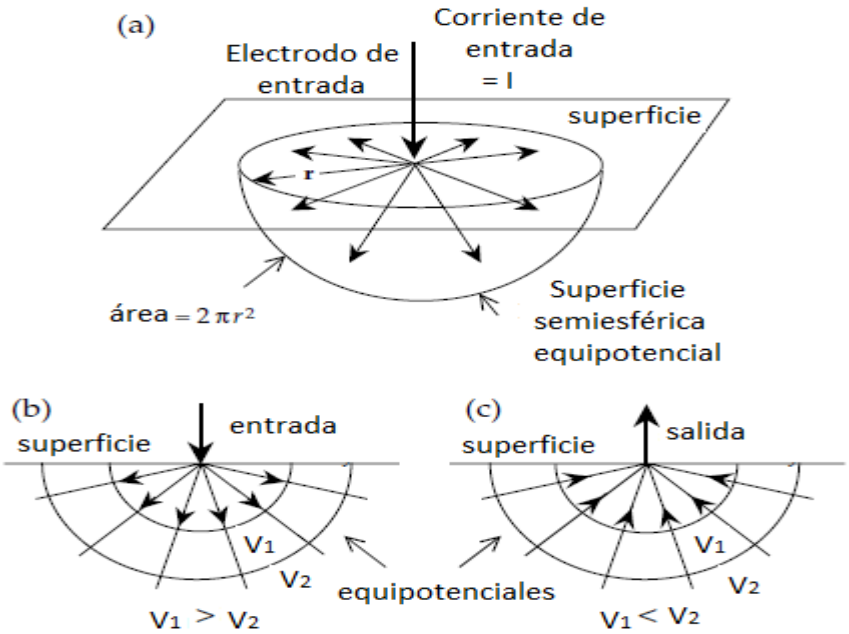


Cuando se utiliza corriente alterna (CA) la conductividad eléctrica del suelo depende de la frecuencia aplicada (Aiassa, 2008). Para frecuencias (>100 kHz) la conductividad eléctrica de los iones de doble capa se incrementa, presentándose una dependencia de la frecuencia y provocando el efecto de relajación de la doble capa. Mientras que, para suelos con frecuencias (<100 kHz) la conductividad resulta independiente de la frecuencia. No obstante, para frecuencias inferiores a (<2 kHz) se produce el efecto de polarización de los electrodos. (Rinaldi y Cuestas, 2002) utilizaron corriente alterna y manifestaron que la conductividad eléctrica del suelo resulta independiente de la frecuencia cuando se encuentra en el rango de 2 a 100 kHz, cumpliéndose la ley de Ohm. En la Figura 2.2 se muestra una típica curva de conductividad en suelos arcillosos.

Mientras tanto, cuando se suministra corriente continua al suelo, esta no presenta ninguna frecuencia. El cumplimiento de la ley de Ohm permite, determinar la resistencia de una columna de suelo, debido a que es considerado como un campo eléctrico unidimensional, midiendo la diferencia de potencial entre dos puntos, y la determinación de la corriente entre los mismos.

2.5.2.6.3. Flujo de corriente en suelo homogéneo.

Figura N° 06: Líneas de campo eléctrico y superficies equipotenciales alrededor de un electrodo en un semiespacio uniforme. a) Superficie equipotencial semiesférica, b) líneas de campo radialmente hacia fuera alrededor de una fuente (entrada), c) líneas de campo radialmente hacia dentro alrededor de un sumidero (salida) (Lowrie, 2007).



La diferencia de potencial entre dos puntos ubicados sobre la superficie puede ser descrita por un gradiente potencial (- δV/ δx) el cual es negativo, debido a que disminuye en la dirección del flujo de corriente (Reynolds, 1997). El campo eléctrico (E) puede escribirse a través del gradiente de un potencial eléctrico escalar:

$$E = -\delta V/\delta r$$

Reemplazamos la ecuación 5 en la ecuación 4 obtenemos: la diferencia de potencial (δV) a través de una superficie semiesférica de espesor incremental (δr), dada por:

$$\frac{\delta V}{\delta_r} = -\rho . J = -\rho \frac{I}{2\pi r^2}$$

Por lo tanto, el voltaje (Vr) a una distancia (r) desde una fuente de corriente puntual es obtenido por integración:

$$V_r = \int \delta V = -\int \rho \frac{I}{2\pi r^2} = \frac{\rho I}{2\pi} \cdot \frac{1}{r}$$

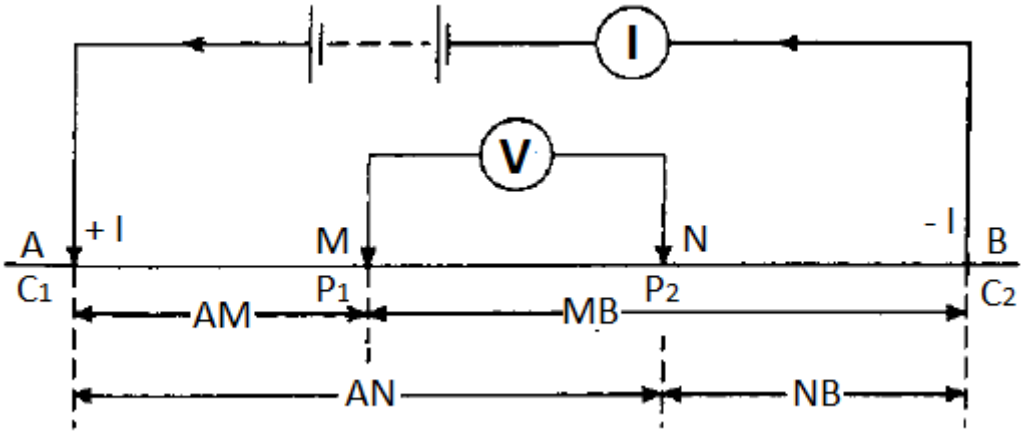
La constante de integración es cero, ya que, Vr = 0, cuando:
r = ∞ como lo manifiesta, (Kearey, 2002). Si el suelo es un semiespacio uniforme, las líneas de campo eléctrico alrededor de un electrodo fuente, que suministra corriente al suelo, se dirigen radialmente hacia fuera, Figura 2.3.b. Mientras que, alrededor de un electrodo sumidero, donde la corriente fluye fuera del suelo, las líneas de campo están dirigidas radialmente hacia el interior, Figura 2.3.c. Las superficies equipotenciales alrededor de un electrodo fuente o sumidero son hemisferios, si consideramos el electrodo de forma aislada. El voltaje alrededor de una fuente es positivo y disminuye como 1/r al aumentar la distancia. El signo de la corriente (I) es negativa en un sumidero, donde la corriente fluye fuera del suelo. Por lo tanto, el voltaje alrededor de un sumidero es negativo y aumenta (llegando a ser menos negativo) como 1/r al aumentar la distancia desde el sumidero. Podemos utilizar estas observaciones para calcular la diferencia de voltaje entre un segundo par de electrodos a distancias conocidas de la fuente y sumidero (Lowrie, 2007).

Configuración de los electrodos y factores geométricos

Método de los cuatro electrodos

Para una fuente y caída de corriente, el potencial VP en cualquier punto P en el suelo es igual a la suma de voltajes, de manera que: VP = VA + VB donde VA y VB son las contribuciones potenciales de los dos electrodos A (+I) y B (-I) como se muestra en la Figura 2.4

Figura N° 07: Forma generalizada de la configuración de los electrodos para medir la resistividad (Reynolds, 1997).



Los voltajes en los electrodos M y N son:

$$V_M = \frac{\rho I}{2\pi}\left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB}\right] \qquad V_M = \frac{\rho I}{2\pi}\left[\frac{1}{AN} - \frac{1}{NB}\right]$$

Sin embargo, es mucho más fácil medir la diferencia de voltaje δV_{MN}, el cual puede ser reescrita como:

$$\delta V_{MN} = V_M - V_N = \frac{\rho I}{2\pi}\left\{\left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB}\right] - \left[\frac{1}{AN} - \frac{1}{NB}\right]\right\}$$

Reordenado esto para que la resistividad ρ es el sujeto:

$$\rho = \frac{2\pi\delta V_{MN}}{I}\left\{\left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB}\right] - \left[\frac{1}{AN} - \frac{1}{NB}\right]\right\}^{-1}$$

La expresión anterior consta de dos partes, el primer término representa la resistencia (R; unidades en “Ω”) y el segundo término describe la geometría de la configuración del electrodo conocido como factor geométrico (K; unidades en “m”), el cual depende del arreglo de los electrodos.

$$K = 2\pi \left[\frac{1}{AM} - \frac{1}{MB} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{NB}\right]^{-1}$$

La resistividad aparente (ρa) y la resistividad real (ρ) únicamente coinciden cuando el subsuelo se considera absolutamente homogéneo.

$$\rho_a = RK \text{ , donde } R = \frac{\delta V}{I}$$

En realidad, el suelo bajo la superficie no se ajusta a un medio homogéneo y, por lo tanto, la resistividad obtenida ya no es la resistividad real, pero, la resistividad aparente incluso puede ser negativa. Es muy importante recordar que la resistividad aparente no es una propiedad física del subsuelo a diferencia de la resistividad real. Consecuentemente, todos los datos de campo de resistividad son resistividad aparente mientras que, las técnicas de interpretación son resistividades reales.

Finalmente, la resistividad aparente es el valor obtenido como producto de la resistencia medida (R) y el factor geométrico (K) para una configuración dada de electrodos, de acuerdo con la ecuación 12. El factor geométrico toma en cuenta la configuración geométrica de los electrodos (Reynolds, 1997). El suelo en la naturaleza tiene características heterogéneas debido a que se encuentran formados por suelos con diferentes resistividades, obteniéndose resultados aparentes (ρa), los cuales son distintos a los reales (ρ). Además, es importante recordar que la resistividad aparente no es una propiedad física del suelo.

Configuraciones de los electrodos

Las configuraciones constan generalmente de cuatro electrodos, se ubican en una misma recta y se ordenan de la siguiente manera (A M N B). La pareja de electrodos A “y” B. Suministran “corriente” y son los responsables de inyectar la electricidad en el subsuelo, mientras que, los electrodos M “y” N son “de potencial” y se emplea para medir el voltaje generado en el subsuelo por la corriente inyectada.

Las configuraciones utilizadas para determinar la resistividad eléctrica se diferencian entre sí por la distancia y posición de los electrodos de “corriente” respecto a los de “potencial” (Rodríguez, 2005).

Las configuraciones comúnmente utilizadas son las de Wenner, Schlumberger y Dipolo – Dipolo, caracterizándose el uso de los cuatro electrodos. En la Figura 2.5 se observa esquemáticamente las tres configuraciones mencionadas anteriormente.

La configuración Wenner presenta distancias iguales entre todos los electrodos AM = MN = NB. En la configuración Schlumberger la distancia MN es menor que la distancia entre los electrodos de corriente AB. Finalmente, en la configuración Dipolo – Dipolo la distancia entre los electrodos de corriente con los de potencial son iguales AM = NB, mientras que la distancia entre el par de electrodos centrales MN difiere (Figura 2.5) mayor detalle de las dos últimas configuraciones se puede encontrar en (Reynolds, 1997; Orellana, 1972; Lowrie, 2007). Para cada configuración se obtuvo un factor geométrico como se describe en la Tabla 2.1.

Tabla N° 03: Factores geométricos de las diferentes configuraciones (Hassan, 2014)

Configuración	Factor geométrico (K)
Wenner	2πa
Schlumberger	πn(n+1)a
Dipolo-Dipolo	πn(n+1)(n+2)a

La Configuración Wenner

propuesta en esta investigación es ampliamente utilizada debido a que tiene una geometría simple, por lo tanto, fácil de usar. Tal configuración está conformada por cuatro electrodos alineados y simétricos con respecto al punto de medición, de modo que AM = AN = a, y MB = NB = 2a. La profundidad de la medición depende de la distancia entre electrodos, pero no del tamaño de los mismos. Además, esta configuración minimiza los problemas de contacto entre los electrodos y el suelo. Insertando los valores previamente determinados en la ecuación 10, se obtuvo que el coeficiente geométrico se simplifica a lo expresado en la ecuación 12.

$$K = 2\pi\left\{\left[\frac{1}{a}-\frac{1}{2a}\right]-\left[\frac{1}{2a}-\frac{1}{a}\right]\right\}^{-1} = 2\pi\left[\frac{2}{a}-\frac{2}{2a}\right]^{-1} = 2\pi a$$

Por lo tanto, la resistividad aparente (ρa) en una configuración Wenner es:

$$\rho_a = 2\pi a R$$

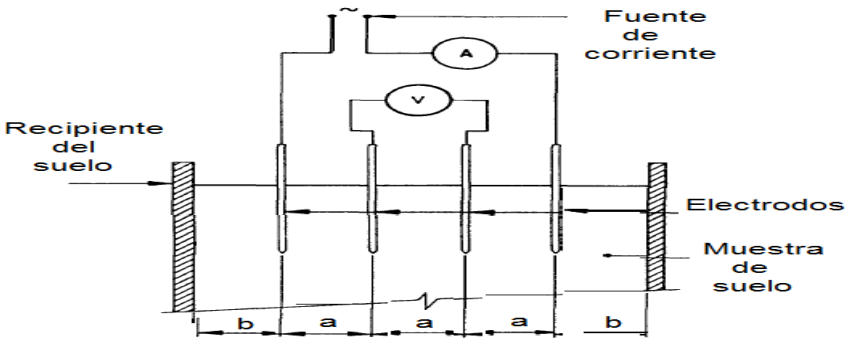
En la Figura 2.6, se muestra la “señal de contribución” para la configuración Wenner observándose las curvas de contorno de las contribuciones hechas por cada unidad de volumen de la subsuperficie para el voltaje medido en la superficie, (Reynolds, 1997). Las señales de contribución de mayor magnitud ocurren en lugares muy próximos a los electrodos de medición, ya que, a medida que se acercan a ellos se obtienen valores muy altos.

Por otra parte, las señales de contribución cercanas a la superficie del terreno, positiva o negativa se cancelan entre sí, por lo que, las únicas contribuciones son las que provienen de lugares más profundos, presentándose señales largamente aplanados como se puede observar en la primera unidad de contorno de la Figura 2.6. Lo que significa que, para medios de estratificación horizontal, el arreglo Wenner tiene una alta resolución vertical (Reynolds, 1997).
Las configuraciones unidimensionales de cuatro electrodos se utilizan comúnmente en el laboratorio para la calibración de la resistividad eléctrica y para el campo en sondeo eléctrico vertical (Samouëlian et al., 2005).

A escala de laboratorio, el método de cuatro electrodos esta descrito en la norma ASTM G57 (2012) y BS 1377 – 3 (1990). La norma ASTM G57 (2012) utiliza un recipiente rectangular para la medición de la resistividad del suelo denominada caja de Miller, a pesar que es fácil de utilizar, la geometría y la forma de la caja no ofrece la flexibilidad en los procedimientos necesarios para el desarrollo de las correlaciones entre el contenido de humedad, peso específico y resistividad. Mientras tanto, la norma BS 1377 – 3 (1990) presenta una celda estándar de forma cilíndrica para medir la resistividad, mediante la cual se puede realizar la medición de forma rápida. Por lo tanto, el método del cilindro Wenner fue adoptado para el trabajo de laboratorio en esta tesis.

En la Figura 2.7 se muestra la configuración de medición de acuerdo al método de cuatro electrodos. Los dos electrodos exteriores se utilizan para inyectar la corriente y la diferencia de potencial es medido entre los dos electrodos interiores.

Figura N° 08: Método del cilindro Wenner (BS 1377-3, 1990).



En la configuración Wenner, la resistividad es relativamente sensible a los cambios verticales del subsuelo, especialmente bajo el centro del arreglo, mientras que, la sensibilidad disminuye en el caso de los cambios horizontales. En general, esta configuración es muy eficiente para estructuras horizontales, pero relativamente pobre en la detención de cuerpos delgados y verticales (de la Rosa, 2013).

En cuanto a la profundidad de investigación, suele ser aproximadamente 0,5 veces el espaciamiento entre electrodos “a”. Comparado con otras configuraciones, el arreglo de Wenner tiene una profundidad de investigación un poco limitada (Loke, 1999).

Sondeo eléctrico vertical (SEV)

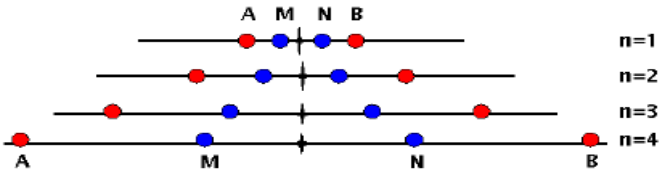
El sondeo eléctrico vertical (SEV) permite determinar el número de capas del subsuelo, mediante la variación de las resistividades con respecto a la profundidad, a partir de la medida de la diferencia de potencial en la superficie, (Orellana, 1972). La principal aplicación de este método tiene lugar en regiones cuya estructura geológica presenta estratos horizontales. El SEV permite obtener perfiles verticales.

El método consiste en separar de manera sucesiva los electrodos de corriente y/o potencial (o ambos) del punto central, con el objetivo de aumentar profundidad de investigación. Hay varias configuraciones de los electrodos que pueden usarse para el sondeo eléctrico vertical (Wenner, Schlumberger y Dipolo - Dipolo), la configuración Schlumberger es la más utilizada debido a que únicamente se mueven los electrodos de corriente A y B.

La profundidad a investigar depende de la penetración, distribución de corriente y la

configuración electródico, y para cada una de ellas la variación de las distancias se hace en diferentes proporciones.

Figura N° 09: Sondeo eléctrico vertical Wenner (Molina, 2006)



Para la configuración Wenner los cuatro electrodos tienen que ser movidos a una nueva posición, incrementándose la separación entre los electrodos, las distancias AM, MN y NB se ven afectados por un factor “n”. Manteniéndola constante durante todas las mediciones. La distancia utilizada para realizar los perfiles de resistividad es AM (Molina, 2006), como se ilustra en la Figura 2.8.

Factores que influyen en el valor de la resistividad en suelos

La resistividad eléctrica del suelo está en función de varias propiedades, entre los que se incluye el contenido de agua (grado de saturación), compactación (densidad), composición del fluido de poros (concentración de sales y solutos), constituyentes sólidos (forma y tamaño de las partículas, mineralogía), disposición de vacíos (porosidad, distribución y conectividad de poros) y temperatura (Samouëlian et al., 2005; Hassan, 2014). Estos parámetros afectan a la resistividad eléctrica de diferentes grados y maneras.

Por su parte, el aire es un medio aislante (i.e. infinitamente resistivo), la resistividad de una solución en agua se encuentra en función de la concentración iónica, mientras que la resistividad de los granos sólidos se relaciona con la densidad de cargas eléctricas en la superficie de los constituyentes (Samouëlian et al., 2005, p.5).

Mediante investigaciones experimentales se ha logrado establecer correlaciones entre resistividad eléctrica y cada una de las características del suelo.

Porosidad

En suelos saturados, la variación de la resistividad eléctrica con la porosidad puede ser representada mediante la ley de Archie.

$$\rho_o = a\rho_w n^{-m}$$

Donde tenemos: ρo = resistividad del suelo, ρw = resistividad eléctrica del fluido de los poros, η = porosidad (dado como la fracción de poros llenos de fluido), a y m constantes empíricos que dependen del tipo de suelo. Ésta relación empírica se determinó a través de mediciones de laboratorio sobre muestras de arena limpia, siendo aplicable únicamente a suelos con un bajo contenido de arcillas. Además, se considera que todos los poros están llenos de agua, excluyendo la posibilidad de que estén llenos de aire (Gabarrón, 2013). Finalmente, se supuso que la conducción eléctrica únicamente se produce debido a la presencia del fluido en los poros.

Contenido de agua

El contenido de agua de los poros del suelo por sí misma es muy importante, ya que la forma de transmisión de corriente en la gran mayoría de los suelos es de tipo electrolítico, de forma que se necesita de la existencia de agua en el suelo para que los iones se puedan desplazar y transmitir la corriente (Gabarrón, 2013).

La relación entre el contenido de agua y la resistividad, viene dada por una modificación de la ley de Archie (ecuación 15), en el caso de suelos no saturados, la disminución del grado de saturación fue acompañada por un incremento de la resistividad debido a la sustitución parcial del agua de los poros por aire. La ley de Archie para suelos no saturados se expresa de la siguiente manera:

$$\rho = \rho_o {S_r}^{-b}$$

Donde la (ρ) es la resistividad del suelo no saturado, (Sr) el grado de saturación y (b) parámetro relacionado con el grado de saturación. Por lo tanto, la resistividad eléctrica depende del grado de saturación, o contenido de agua en los poros del suelo.

La relación entre la humedad y resistividad se obtiene mediante curvas de calibración, para la cual se ha propuesto numerosas ecuaciones. Hassan (2014) detalló que varios autores han implementado distintas modificaciones a la ley de Archie para estimar el contenido de agua (polinomial, exponencial y potencial). Por ejemplo: McCarter (1984)

y Fukue et al. (1999) estimaron el contenido agua, en arcillas mediante una función potencial.

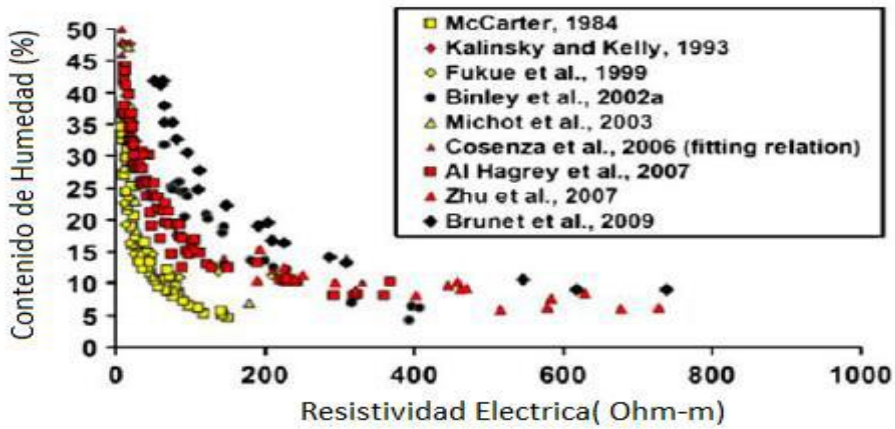
Basados en un extenso estudio experimental, Shah y Singh, (2005) propusieron una generalización de la ley de Archie para suelos de grano fino expresado como:

$$\rho = \rho_w \theta^{-m}$$

Donde ρ es la resistividad del suelo, θ el contenido volumétrico de agua, ρw es un parámetro de ajuste relacionada con la resistividad del agua de poro "y" m es constante.

Calamita *et al*. (2012) correlacionaron la resistividad eléctrica con el contenido de agua volumétrico, resaltando la función potencial como se muestra en la Figura 2.9, (citado por Hassan, 2014, p.44). Estos estudios mostraron que al incrementar el contenido de agua en el suelo la resistividad eléctrica disminuye, aplicado a diferentes tipos de suelo. Samouëlian *et al*. (2005) manifestaron que, para suelos con un contenido de agua < 15%, la resistividad eléctrica disminuye rápidamente con el incremento del contenido de agua.

Figura N° 10: Relación entre el contenido de humedad y la resistividad eléctrica para diferentes suelos. (Amarillo: arcilla, Rojo: marga y Negro: arena (Hassan, 2014).



Compactación

La densidad aparente del suelo depende de la cantidad relativa de aire y componentes sólidos en un volumen dado de suelo. Si la densidad aparente disminuye la cantidad de

aire aumenta llenándose en la porosidad e incrementando la resistividad eléctrica en varios cientos de ohm-m (condiciones secas y sueltas del suelo). En cambio, si la densidad aparente aumenta, el contenido de aire y la resistividad eléctrica también disminuyen. La resistividad eléctrica es muy sensible a cualquier variación en la densidad del suelo.

Seladji et al. (2010) manifestaron que ante un incremento en la densidad del suelo la resistividad eléctrica disminuye como consecuencia del cambio de porosidad. Además, la conductancia eléctrica se incrementará debido a que los microporos estarían más conectados al tener un mayor de contacto entre las partículas de suelo, esta investigación se efectuó en suelos arcillosos.

Abu-Hassanein et al. (1996) estudiaron la influencia de las condiciones de compactación del suelo en la resistividad eléctrica, referidas a la humedad y energía de compactación, en suelos arcillosos y limosos. Los resultados indicaron que, la resistividad eléctrica de suelos compactados en rama seca es mayor que la de suelos compactados en rama húmeda. La humedad de compactación juega un papel importante, debido a que, la resistividad eléctrica es más sensible a las variaciones de humedad inferiores al óptimo, mientras que en rama húmeda la resistividad eléctrica resulta independiente a la humedad de compactación. De igual forma, la influencia de la energía de compactación resulta más significativa en rama seca, donde a mayor energía de compactación menor resistividad eléctrica. Mientras que, cuando se compacta en la rama húmeda, la resistividad eléctrica es independiente de la energía de compactación (citado por Aiassa, 2008, p.86).

Composición del fluído de poro

La resistividad del fluido de los poros está siendo controlada por la concentración de sales disueltas en el suelo. Al existir mayor concentración de sal en el suelo, la conductividad se incrementa (disminuyendo la resistividad). Varios autores han reportado una fuerte relación entre la resistividad y la salinidad.

Aiassa (2008) manifestó que la conductividad eléctrica también depende de la movilidad de los iones presentes en el fluido de los poros, por lo que la estimación del

contenido de humedad mediante mediciones de resistividad, requiere el conocimiento de la concentración de iones disueltos. La presencia de distintos iones en una solución (H+, OH-, Na+, Cl-, etc.) afectan de manera diferente a la conductividad, debido a que cada ion presenta diferente movilidad (Samouëlian et al., 2005).

Temperatura

Samouëlian et al. (2005) manifestaron que se produce agitación iónica con el incremento de la temperatura, mientras que la viscosidad del fluido disminuye. Por lo tanto, en un suelo la resistividad eléctrica disminuye con el incremento de la temperatura del suelo (Aiassa, 2008).

Las mediciones de resistividad eléctrica deben realizarse bajo temperatura controlada de 25ºC, o bien efectuar la corrección de los resultados mediante la siguiente expresión,

$$\rho_T = \frac{\rho_{25°C}}{1 + \alpha(T - 25°C)}$$

donde ρT = resistividad eléctrica a la temperatura (T), ρ25°C = resistividad eléctrica a 25°C y el factor de corrección (α = 0,0202°C-1).

Resistividades de algunos materiales naturales

Los diferentes materiales que componen el subsuelo en la naturaleza presentan un amplio rango de resistividades, valores que oscilando desde 1,6x10-8 Ωm para la plata pura hasta los 1016 Ωm del sulfuro puro (Reynolds, 1997). Mientras tanto, una roca se comporta como un aislante eléctrico con resistividades que van desde 105 - 107 Ωm.

Las rocas ígneas y metamórficas, influenciados por el grado de fractura y el porcentaje de agua que rellenan tales fracturas presentan altos valores de resistividad, al igual, que las rocas sedimentarias debido a su porosidad, característica que permite almacenar un mayor contenido de agua en los poros. Para este último caso, el rango de resistividades suele ser bastante amplio, ya que depende del grado de porosidad de la roca y la salinidad de la fase liquida del suelo. Reynolds (1997) en su libro presenta una lista completa de los materiales geológicos más comunes con sus respectivas resistividades.

Los sedimentos sueltos sin consolidar presentan valores de resistividad inferiores a los de las rocas sedimentarias. Además, los suelos también presentan una amplia variación.

en las resistividades (ρ), la resistividad de las arenas es superior al de los limos y arcillas, como se observa en la Tabla 2.2.

Tabla N° 04: Valores características de resistividad eléctrica (Reynolds, 1997)

Tipo de suelo	Resistividad (Ωm)
Arcilla	1 – 100
Limo	10 - 150
Arena	10 – 1000
Arena arcillosa / arcilla arenosa	30 – 215
Arenisca	50 – 10^7

Reynolds (1987), realizó una investigación en el norte de África, el cual mediante la interpretación de las resistividades pudo evaluar, que el material cerca de la superficie es una arena arcillosa o una arcilla arenosa. La resistividad para materiales arenosos está cerca de 100 Ωm y decrece con el incremento del contenido de arcilla cercano a 40 Ωm hasta llegar a ser la arcilla un constituyente dominante. La arcilla casi libre de arena se encuentra entre el rango de 1 a 10 Ωm. Según Orellana (1972), las arenas impregnadas de agua salada presentan resistividades inferiores a los resultados obtenidos en la Tabla 2.2 y puede descender hasta 0,1 Ωm.

2.5.3. MARCO CONCEPTUAL

Para obtener una interpretación uniforme presento un vocabulario en el que figuran términos que pueden tener varias acepciones en el lenguaje común, con el fin de que sean entendidos de acuerdo con la definición que se expone.

Capacidad Portante: Es la capacidad del terreno reducida por efecto de la sobrecarga, el peso del suelo y el peso de la zapata.

Suelo: Son el producto del desgaste o desintegración de las rocas de la corteza terrestre, debido a los agentes atmosféricos y a los diferentes procesos físico-químicos en la naturaleza.

Roca: Son aquellas que están formadas por minerales, y otras substancias sólidas endurecidas, y sólo pueden ser excavadas mediante taladros, cuñas o explosivos.

Resistividad: Resistencia proporcional de un material conductor según su longitud y anchura.
Cimentación: es aquella parte de la estructura encargada de transmitir las cargas actuantes sobre la totalidad de la construcción al terreno.

2.5.4. MARCO HISTÓRICO

Los suelos a través del tiempo no han sido considerados como material que influya en las obras civiles. Pero en la actualidad esta concepción es considerada no apta ya que los suelos aportan a las diferentes obras de ingeniería múltiples beneficios como: Conocer el grado de resistencia del subsuelo, Propiedades físicas reales de los suelos, entre otras

Era tanto la poca importancia que se le daba al suelo, que para una de las artes más antiguas de la actividad humana como es la construcción de fundaciones (nace con la necesidad de construir del ser humano al dejar de ser nómada, hace 12000 años aproximadamente), siempre fueron unos de los tópicos más abandonados de la tecnología de la construcción y de la arquitectura. Es así que para la construcción de las fundaciones realizadas por las antiguas culturas, dependían del espacio y del material disponible y no de las cargas y la capacidad portante del suelo. Esto es evidenciado en culturas como Mesopotamia donde las fundaciones se realizaban en Suelos blandos de aluvión con la utilización de ladrillos cerámicos apoyados sobre esteras de cañas; Egipto: Construcciones religiosas monumentales, Bloques de roca apoyados directamente sobre arenisca; La Biblia: En el antiguo testamento figura una recomendación sobre la fundación de estructuras, Fundar en roca en lugar de arena. Y Antigua Grecia: Viviendas livianas (madera) y templos religiosos de piedra fundados sobre colchones de roca.

Ya con el transcurso del tiempo las culturas fueron ganando experiencia y se fue dando más importancia al suelo, dando espacio al desarrollo de técnicas de construcción como lo hizo la antigua Roma, debido a la expansión del imperio necesito desarrollar la ingeniería civil y debido a esto aparece el cemento pozolánico, la estabilización de suelos y las primeras reglas y principios escritos referidos a la arquitectura y la construcción.

Aunque en la edad media en los periodos Preromanico y Románico las fundaciones eran hechas al Colocar escombros mezclados con mortero pobre o arcilla dentro de excavaciones con las dimensiones de la edificación, todavía reinaba el espacio y los materiales disponibles sin consideraciones de la capacidad del suelo. En el Período Gótico, de comienzos del Siglo XII a las primeras décadas del Siglo XVI las Fundaciones son más adecuadas, morteros de mejor calidad y bloques de roca mejor cortadas (más regulares), selección del lugar de instalación y cierto reconocimiento de las condiciones del subsuelo. Pero punto de inflexión en la Ingeniería de Fundaciones se dio en el período Neoclásico (S XVIII al S XX). Los avances tecnológicos y la aplicación de nuevos materiales (morteros hidráulicos, acero, etc.) se conectaron a la práctica de la construcción. Nuevas localizaciones de construcciones por crecimiento de ciudades (avance sobre terrenos bajos de baja capacidad portante) . En la actualidad el suelo es la parte fundamental de una cimentación, por lo cual se ha visto la necesidad de profundizar investigaciónes en este campo, llegando así a encontrar formas de cálculos para hallar dos factores fundamentales a la hora del diseño de cimientos, como los son la capacidad de carga y asentamientos del suelo. Para la capacidad de carga en la actualidad existen teorías muy utilizadas como son la teoría de Terzaghi, Skempton y Meyerhof, de las cuales se derivan las ecuaciones de Hansen y Vesic, y para el cálculo de asentamientos inmediatos se basa en métodos empíricos tales como correlaciones directas entre resultados de campo y el asentamiento, ensayos de resistencia a la penetración SPT o CPT y método de Schmertman.

2.**6. HIPÓTESIS A DEMOSTRAR**

Se podrá obtener las caracteristicas físico - mecánicas del suelo mediante el método de la resistividad, en el área de estudio.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES

Para el presente trabajo se ha hecho uso de lo siguiente:

3.1.1. RECURSOS HUMANOS

Para este presente trabajo de investigación se conto con la colaboración del siguiente pesonal:

El Asesor: Es el que orienta y coordina el desarrollo de la metodología de la investigación de este trabajo para llegar a los objetivos planteados.

El Tesista: Es el encargado de desarrollar el trabajo de investigación manejando todos los procesos que intervienen en el desarrollo, coordinando constantemente con el asesor, el personal del laboratorio.

El Técnico de Laboratorio: Es el que realiza las pruebas de los materiales a utilizar asi como tambien interviene en coordinación con el tesista en la obtención de los resusltados de los siguientes ensayos de laboratorio: Contenido de Humedad, Análisis Granulométrico por Tamizado, Límite Liquido y Límite, Clasificación Unificada de Suelos.

Jefe de Laboratorio: Es la persona responsable del laboratorio de ensayos de materiales el cual interviene en todo el proceso de pruebas y diagnóstico final certificando asi todos los ensayos realizados por el tesista.

3.1.2. RECURSOS MATERIALES

Material bibliográfico: Libros referente al tema complementando en el marco teorico.

Material de escritorio: cartuchos de tinta para impresora, CD´s, papel A4, lapiceros.

3.1.3. RECURSOS DE EQUIPOS

1. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD. ASTM D2216

EQUIPO:

Recipiente para humedad (aluminio o lata).

Horno eléctrico (estufa) con control de temperatura de 110 ± 5°C.

Balanza de precisión.



2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO. ASTM D422

EQUIPO:

Un juego de tamices normalizados según la tabla anterior.

Dos balanzas: con capacidades superiores a 20 kg. y 2000 gr. Y precisiones de 1gr. y 0,1gr. Respectivamente.

Horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en 110 º ± 5 º C.

Un vibrador mecánico.

Herramientas y accesorios. Bandeja metálica, recipientes plásticos y escobilla.


3. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO. ASTM D4318

EQUIPO:

Aparato del Límite Líquido (Copa de Casagrande), el que consiste en una taza (cuchara) de bronce con una masa de 200 ± 20 gr. montada en un dispositivo de apoyo fijado a una base de caucho, madera o plástico duro.

Acanalador (Casagrande o ASTM), mango de calibre de 1cm. para verificar altura de caída de la cuchara o copa.

Plato de evaporación de porcelana de 120mm. de diámetro.

Espátula hoja flexible de 20mm. de ancho y 70mm. de largo.

Horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en 110 º± 5ºC.

Balanza de precisión de 0,01gr.

Herramientas y accesorios. Placas de vidrio, agua destilada, recipientes herméticos, malla Nº 40 ASTM y probeta de 25ml de capacidad.

4. DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO. ASTM D4318

EQUIPO:

Plato de evaporación de porcelana de 120mm. de diámetro.

Espátula hoja flexible 20mm. de ancho y 70mm. de largo.

Placa de vidrio esmerilado o mármol como superficie de amasado.

Horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en 110 º ± 5 º C.

Patrón de comparación, puede usarse un alambre ó plástico de 3mm. de diámetro.

Balanza de precisión de 0, 01gr.

Probeta de 25mm. de capacidad.

Herramientas y accesorios. Malla N º40 ASTM, agua destilada y recipientes herméticos.

5. DETERMINACIÓN DEL OHMIAJE

Como puede ver, se colocan en el terreno cuatro picas en línea recta equidistantes entre ellas. La distancia entre las picas debe ser al menos el triple que el valor de profundidad de la pica. Por lo tanto, si la profundidad de cada pica es de 30 cm, asegúrese de que la distancia entre las picas es como mínimo de 91 cm. El Fluke 1625 genera una corriente conocida a través de las dos picas exteriores y se mide la caída en el potencial de tensión entre las dos picas interiores. Mediante la Ley de Ohm (V = IR), el comprobador Fluke calcula de forma automática la resistividad del terreno.

Dado que elementos como piezas de metal enterradas o acuíferos subterráneos distorsionan e invalidan a menudo los resultados de la medición, siempre se recomienda realizar mediciones adicionales en las que los ejes de las picas se hayan girado 90 grados. Al cambiar la profundidad y la distancia varias veces, se produce un perfil que puede determinar un sistema de resistividad del terreno adecuado.

3.2. METODOLOGÍA

3.2.1. UNIVERSO, MUESTRA Y POBLACIÓN

Universo

Está conformada por los suelos del distrito de Morales, Provincia de San Martín, Departamento de San Martín, en el sector delimitado en el plano adjunto.

Muestra

Corresponde los suelos de los perímetros de los jirones: Jr. Oxapampa, Jr. José Gálvez, Jr. Callao, Psje. Las Flores del distrito de Morales, Provincia de San Martín, Departamento de San Martín, en el sector delimitado en el plano adjunto.

Población

Corresponde los suelos del distrito de Morales, Provincia de San Martín, Departamento de San Martín, en el sector delimitado en el plano adjunto.

3.2.2. SISTEMA DE VARIABLES

Variable Independiente

Estudio de laboratorio de la muestra de suelo.

Variable dependiente

Características físico – mecánicas de los suelos del distrito de Morales – provincia de San Martin – región San Martin.

3.2.3. DISEÑO EXPERIMENTAL DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.3.1. Tipo de investigación:

El tipo de investigación fue descriptivo, sobre la que se buscó especificar y analizar las características geológicas y geotécnicas del suelo, los estudios descriptivos se caracterizan por la selección de una serie de variables y se mide cada una de ellas independientemente, para así describir lo que se investiga.

3.2.3.2. Diseño de investigación:

El diseño fue no experimental de tipo transeccional y lo que se hace en la investigación no experimental es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural como: geológicos, hidrológicos e hidráulicos y geológicos-climáticos, para después analizarlos. Los diseños transeccionales tienen la ventaja de que se basan en la observación de objetos de investigación tal como existe en la realidad, sin intervenir en ellos ni manipularlos (Sierra, 1993). Según el carácter de la medida el enfoque del estudio es mixto, se analizaron variables cuantitativas y cualitativas.

3.2.4. DISEÑO DE INSTRUMENTOS

En primer lugar, se procedió a recopilar la información bibliográfica existente en los

textos especializados en relación a la obtención de la capacidad portante de los suelos, características de suelos y libros sobre el sondeo vertical, método de Werner. En segundo lugar se procedió a revisar los principales conceptos sobre los ensayos de laboratorio a realizar estos son:

Contenido de Humedad, Análisis Granulométrico por Tamizado, Límite Líquido y Límite, Clasificación Unificada de Suelos, Peso Específico del Sólido, Gravedad Específica de los Sólidos, Peso Volumétrico, Corte Directo, para la obtención de la capacidad portante del suelo en ensayo.

De lo relacionado a las normas

ENSAYOS ESTANDAR	NORMA USADA
01 Contenido de Humedad Natural	ASTM D2216
02 Análisis Granulométrico por Tamizado	ASTM D422
03 Límite Liquido y Límite Plástico	ASTMD4318
04 Clasificación Unificada de Suelos	ASTM D248

3.2.5. PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

3.2.5.1. Exploracion de suelos

3.2.5.2. Reconocimiento de campo

Los trabajos fueron realizados por el tesista y el personal de aopoyo de la UNSM, identificando los lugares y zonas, en los cuales se deberían realizar las excavaciones con la finalidad de determinar el perfil estratigráfico del área de estudio, realizando 20 calicatas o pozos a cielo abierto distribuido convenientemente.

3.2.5.3. Excavaciones a cielo abierto (Calicatas)

Con la finalidad de determinar las Propiedades Indice, el perfil estratigráfico, el esfuerzo admisible por zonas de acuerdo a las características de los suelos, se han realizado 20 calicatas o pozos a cielo abierto distribuido convenientemente en el area de estudio.

Muestreo disturbado.- Se han recuperado muestras disturbadas de cada uno de los tipos de suelo encontrados durante las excavaciones, en cantidad suficiente o representativa, para realizar los ensayos de clasificación e identificación de suelos.

Muestreo inalterado.- Se han recuperado muestras inalteradas de las calicatas a una profundidad promedio de 3 metros y acondicionadas para el traslado al laboratorio.

Registro de excavaciones.- Paralelamente se realizó el registro de las calicatas, anotándose las principales caracteristicas de los tipos de suelo encontrado, tales como buzamiento, humedad, plasticidad, peso volumétrico, etc.

Por ultimo se procedió a calcular la resistividad del suelo con el telurómetro para así hacer la comparación entre ambos métodos y ver la relacion existente en la clasificación de los suelos.

3.2.5.4. Espaciamiento y características de las calicatas

El espaciamiento de las calicatas y las características de cada una de ellas varían de acuerdo a la topografía y ubicación de las zonas más pobladas.

Las calicatas fueron realizadas según la Norma Técnica ASTM D420, la cual es aplicable a todos los Estudios De Mecánica De Suelos (EMS).

Los autores y estudios indican que para estudios como el muestreo, a fin de lograr una buena precisión del perfil estratigráfico del suelo, se deben tomar muestras a distancias entre los 40 m y 100 m, pero en realidad para lograr perfiles estratigráficos que sean más reales, se deben tomar muestras en distancia más cortas, por lo que se ha realizado las excavaciones de 20 calicatas o pozos a cielo abierto a una profundidad no menor de 3.00; las cuales están propensas a cambios de acuerdo a los diferentes factores como es el nivel freático.

El Estudio de Mecánica de Suelos (EMS), nos ha permitido examinar en su estado natural las características de los tipos de suelos, que constituyen cada estrato de la zona en estudio, haciendo una descripción completa de los mismos, clasificando los

suelos en forma precisa por su textura. Las técnicas de muestreo se han realizado según Norma ASTM 420.

Las muestras llevadas al laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad Nacional de San Martin, fueron las más representativas y en cantidades reglamentarias para cada tipo de material, escogidos luego del cuarteo respectivo.

Para el transporte de las muestras extraídas, se han utilizado bolsas plásticas y recipientes cerrados herméticamente, a los cuales, para su identificación, se les coloco etiquetas con los siguientes datos:

Nombre del proyecto.
Ubicación de calicata.
Fecha de excavación.
Número de calicata.
Número de estrato.
Tipo de muestra.
Profundidad de la muestra.
Responsable.
Perfil estratigráfico.

3.2.5.5. Ensayos de Laboratorio de Mecánica de Suelos

Las muestras extraídas en los puntos de investigación y/o muestreo de la fase de investigación de campo, se determinaron sus propiedades físicas y mecánicas mediante la ejecución de los ensayos estándar y especiales que se indican a continuación:

ENSAYOS ESTANDAR	NORMA USADA
01 Contenido de Humedad Natural	ASTMD2216
02 Analisis Granulométrico por Tamizado	ASTM D422
03 Límite Liquido y Límite Plastico	ASTM D4318
04 Clasificación Unificada de Suelos	ASTM D2487

IV. RESULTADOS

4.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO – MECÁNICAS DEL SUELO DEL ÁREA DE ESTUDIO

Cuadro N° 01: Características físico – mecánicas del suelo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
TELEFONO 521402-ANEXO FICA
TARAPOTO - PERU

TESIS : EVALUACION POR METODOS NO CONVENCIONALES DE CARACTERIZACION DE SUELOS DEL DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA DE SAN MARTIN REGION SAN MARTIN
EJECUTA : BACHILLER ARNOLD ALFONSO RAMIREZ FLORES
UBICACIÓN : DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DPTO SAN MARTIN
FECHA : MAYO DEL 2,017

CUADRO DE RESULTADOS

CALICATA	DESCRIPCION	PROFUND.	RESULTADOS												
			GRANULOMETRIA				PROPIEDADES INDICES			HUMEDAD	CONSISTENCIA	Valores de Resisitividad		CLASIF.	CLASIF.
MUESTRA	CALLE	MUESTRA m.	MALLA # 4	MALLA #10	MALLA # 40	MALLA #200	L.L %	L.P. %	IP %	NATURAL %	O DENSIDAD	MINIMO Ohm	MAXIMO ohm	SUCS	AASHTO
C-1	JR. JOSE GALVEZ C-8 - JR. OXAPAMA C-4 Y C-5	0.00-3.00	100.00	97.10	75.1	31.00	27.00	20.00	7.00	20.50	MEDIA	302.00	480.00	SM-SC	A-2-4(0)
C-2	JR. JOSE GALVEZ C-7 - JR. SANTA INES C-2	0.25-3.00	100.00	99.50	89	50.30	34.20	20.40	13.80	27.00	CONSISTENTE	70.00	88.00	CL	A-6(4)
C-3	JR. JOSE GALVEZ C-6 - JR. ORIENTAL C-2	0.40-3.00	100.00	99.60	89.7	52.00	34.60	20.60	14.00	18.40	DURO	75.00	88.00	CL	A-6(5)
C-4	JR. JOSE GALVEZ C-5 - JR. M. PUMACAHUA C-2	0.20-3.00	100.00	99.80	92.6	54.50	33.20	20.90	12.30	23.30	SEMI DURA	70.00	82.00	CL	A-6(5)
C-5	JR. JOSE GALVEZ C-4 - JR. CALLAO C-22	0.20-3.00	100.00	98.70	81.8	36.50	31.80	21.60	10.20	14.20	MEDIA	210.00	295.00	SC	A-6(0)
C-6	JR. OXAPAMPA C-6 - JR. TUPAC AMARU C-7	0.40-3.00	100.00	98.00	74	27.60	23.80	17.00	6.80	13.80	MEDIA	305.00	495.00	SM-SC	A-2-4(0)
C-7	JR. SANTA INES C-3 - JR. TUPAC AMARU C-6	0.50-3.00	99.30	96.40	76.9	25.90	22.80	17.80	5.00	12.60	MEDIA	312.00	492.00	SM-SC	A-2-4(0)
C-8	JR. ORIENTAL C-3 - JR. TUPAC AMARU C-5	0.45-3.00	99.80	99.60	90.5	47.30	34.40	21.20	13.20	20.30	MEDIA	208.00	298.00	SC	A-6(3)
C-9	JR. TUPAC AMARU C-5 - JR. M. PUMACAHUA C-4	0.60-3.00	100.00	99.80	86.3	33.30	32.40	22.40	10.00	10.80	MEDIA	210.00	277.00	SC	A-2-4(0)
C-10	JR. TUPAC AMARU C-4 - JR. CALLAO C-4	0.30-3.00	100.00	98.40	74.5	23.30	21.40	14.70	6.70	10.70	MEDIA	302.00	492.00	SM-SC	A-2-4(0)
C-11	JR. SANTA INES C-2 - JR. VICTORIA VASQUEZ C-6	0.60-3.00	100.00	98.90	85.4	47.30	33.70	20.00	13.70	17.10	MEDIA	202.00	285.00	SC	A-6(4)
C-12	JR. VICTORIA VASQUEZ C-5 - JR. M. PUMACAHUA C-3	0.50-3.00	99.20	95.50	70	26.90	24.00	17.10	6.90	14.00	MEDIA	300.00	495.00	SM-SC	A-2-4(0)
C-13	JR. ORIENTAL C-4 - JR. 1° DE MAYO C-6	0.60-3.00	100.00	99.10	76.8	30.00	26.20	19.30	6.90	12.50	MEDIA	311.00	455.00	SM-SC	A-2-4(0)
C-14	JR. MATEO PUMACAHUA C-4 - JR. 1° DE MAYO C-4	0.25-3.00	100.00	100.00	98.9	34.90	19.70	13.30	6.40	18.50	MEDIA	302.00	478.00	SM-SC	A-2-4(0)
C-15	JR. OXAPAMPA C-8 - PSJE. LAS FLORES C-2	0.20-3.00	100.00	71.50	56.3	17.00	19.80	13.30	6.50	9.30	MEDIA	325.00	412.00	SM-SC	A-2-4(0)
C-16	JR. SANTA INES C-5 - PSJE. LAS FLORES C-1	0.10-3.00	100.00	86.60	42.4	16.40	18.50	12.80	5.70	10.60	MEDIA	311.00	490.00	SM-SC	A-2-4(0)
C-17	PSJE. LAS FLORES C-1 - PSJE. SANTA LUCIA C-3	0.15-3.00	100.00	99.40	90.8	20.80	19.20	13.30	5.90	18.00	MEDIA	355.00	402.00	SM-SC	A-2-4(0)
C-18	PSJE. SANTA LUCIA C-3 - JR. ORIENTAL C-5	0.15-3.00	100.00	99.80	99.14	21.20	19.20	13.10	6.10	23.40	MEDIA	312.00	499.00	SM-SC	A-2-4(0)
C-19	PSJE. SANTA LUCIA C-2 - JR. MATEO PUMACAHUA C-5	0.20-3.00	100.00	99.82	98.96	21.00	18.90	13.00	5.90	21.80	MEDIA	301.00	467.00	SM-SC	A-2-4(0)
C-20	PSJE. SANTA LUCIA C-1 - JR. CALLAO C-5	0.20-3.00	100.00	99.76	98.7	18.90	19.00	12.30	6.70	18.50	MEDIA	355.00	499.00	SM-SC	A-2-4(0)

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos – UNSM

4.2. COMPOSICIÓN ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Cuadro N° 02: Características granulométricas - CL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
TELEFONO 521402-ANEXO FICA
TARAPOTO - PERU

TESIS : EVALUACION POR METODOS NO CONVENCIONALES DE CARACTERIZACION DE SUELOS DEL DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA DE SAN MARTIN REGION SAN MARTIN
EJECUTA : BACHILLER ARNOLD ALFONSO RAMIREZ FLORES
UBICACIÓN : DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DPTO SAN MARTIN
FECHA : MAYO DEL 2,017

CUADRO DE RESULTADOS

CALICATA	DESCRIPCION	PROFUND.	RESULTADOS												
			GRANULOMETRIA				PROPIEDADES INDICES			HUMEDAD	CONSISTENCIA	Valores de Resisitividad		CLASIF.	CLASIF.
MUESTRA	CALLE	MUESTRA m	MALLA #4	MALLA #10	MALLA #40	MALLA #200	LL %	L.P. %	IP %	NATURAL %	O DENSIDAD	MINIMO Ohm	MAXIMO ohm	SUCS	AASHTO
C-2	JR. JOSE GALVEZ C-7 - JR. SANTA INES C-2	0.25-3.00	100.00	99.50	89	50.30	34.20	20.40	13.80	27.00	CONSISTENTE	70.00	88.00	CL	A-6(4)
C-3	JR. JOSE GALVEZ C-6 - JR. ORIENTAL C-2	0.40-3.00	100.00	99.60	89.7	52.00	34.60	20.60	14.00	18.40	DURO	75.00	88.00	CL	A-6(5)
C-4	JR. JOSE GALVEZ C-5 - JR. M. PUMACAHUA C-2	0.20-3.00	100.00	99.80	92.6	54.50	33.20	20.90	12.30	23.30	SEMI DURA	70.00	82.00	CL	A-6(5)
Valores de Resistividad ohm =												70	88		

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos – UNSM

Cuadro N° 03: Características granulométricas – SM - SC

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

TELEFONO 521402-ANEXO FICA

TARAPOTO - PERU

TESIS : EVALUACION POR METODOS NO CONVENCIONALES DE CARACTERIZACION DE SUELOS DEL DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA DE SAN MARTIN REGION SAN MARTIN

EJECUTA : BACHILLER ARNOLD ALFONSO RAMIREZ FLORES

UBICACIÓN : DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DPTO SAN MARTIN

FECHA : MAYO DEL 2,017

CUADRO DE RESULTADOS

CALICATA	DESCRIPCION	PROFUND.	RESULTADOS												
			GRANULOMETRIA				PROPIEDADES INDICES			HUMEDAD	CONSISTENCIA	Valores de Resisitividad		CLASIF.	CLASIF.
MUESTRA	CALLE	MUESTRA m.	MALLA # 4	MALLA #10	MALLA # 40	MALLA #200	L.L %	L.P. %	IP %	NATURAL %	O DENSIDAD	MINIMO Ohm	MAXIMO ohm	SUCS	AASHTO
C-1	JR. JOSE GALVEZ C-8 - JR. OXAPAMA C-4 Y C-5	0.00-3.00	100.00	97.10	75.1	31.00	27.00	20.00	7.00	20.50	MEDIA	302.00	480.00	SM-SC	A-2-4(0)
C-6	JR. OXAPAMPA C-6 - JR. TUPAC AMARU C-7	0.40-3.00	100.00	98.00	74	27.60	23.80	17.00	6.80	13.80	MEDIA	305.00	495.00	SM-SC	A-2-4(0)
C-7	JR. SANTA INES C-3 - JR. TUPAC AMARU C-6	0.50-3.00	99.30	96.40	76.9	25.90	22.80	17.80	5.00	12.60	MEDIA	312.00	492.00	SM-SC	A-2-4(0)
C-10	JR. TUPAC AMARU C-4 - JR. CALLAO C-4	0.30-3.00	100.00	98.40	74.5	23.30	21.40	14.70	6.70	10.70	MEDIA	302.00	492.00	SM-SC	A-2-4(0)
C-12	JR. VICTORIA VASQUEZ C-5 - JR. M. PUMACAHUA C-3	0.50-3.00	99.20	95.50	70	26.90	24.00	17.10	6.90	14.00	MEDIA	300.00	495.00	SM-SC	A-2-4(0)
C-13	JR. ORIENTAL C-4 - JR. 1' DE MAYO C-6	0.60-3.00	100.00	99.10	76.8	30.00	26.20	19.30	6.90	12.50	MEDIA	311.00	455.00	SM-SC	A-2-4(0)
C-14	JR. MATEO PUMACAHUA C-4 - JR. 1' DE MAYO C-4	0.25-3.00	100.00	100.00	98.9	34.90	19.70	13.30	6.40	18.50	MEDIA	302.00	478.00	SM-SC	A-2-4(0)
C-15	JR. OXAPAMPA C-8 - PSJE. LAS FLORES C-2	0.20-3.00	100.00	71.50	56.3	17.00	19.80	13.30	6.50	9.30	MEDIA	325.00	412.00	SM-SC	A-2-4(0)
C-16	JR. SANTA INES C-5 - PSJE. LAS FLORES C-1	0.10-3.00	100.00	86.60	42.4	16.40	18.50	12.80	5.70	10.60	MEDIA	311.00	490.00	SM-SC	A-2-4(0)
C-17	PSJE. LAS FLORES C-1 - PSJE. SANTA LUCIA C-3	0.15-3.00	100.00	99.40	90.8	20.80	19.20	13.30	5.90	18.00	MEDIA	355.00	402.00	SM-SC	A-2-4(0)
C-18	PSJE. SANTA LUCIA C-3 - JR. ORIENTAL C-5	0.15-3.00	100.00	99.80	99.14	21.20	19.20	13.10	6.10	23.40	MEDIA	312.00	499.00	SM-SC	A-2-4(0)
C-19	PSJE. SANTA LUCIA C-2 - JR. MATEO PUMACAHUA C-5	0.20-3.00	100.00	99.82	98.96	21.00	18.90	13.00	5.90	21.80	MEDIA	301.00	467.00	SM-SC	A-2-4(0)
C-20	PSJE. SANTA LUCIA C-1 - JR. CALLAO C-5	0.20-3.00	100.00	99.76	98.7	18.90	19.00	12.30	6.70	18.50	MEDIA	355.00	499.00	SM-SC	A-2-4(0)
Valores de Resistividad ohm =												300	499		

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos – UNSM

Cuadro N° 04: Características granulométricas SC

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
TELEFONO 521402-ANEXO FICA
TARAPOTO - PERU

TESIS : EVALUACION POR METODOS NO CONVENCIONALES DE CARACTERIZACION DE SUELOS DEL DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA DE SAN MARTIN REGION SAN MARTIN
EJECUTA : BACHILLER ARNOLD ALFONSO RAMIREZ FLORES
UBICACIÓN : DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DPTO SAN MARTIN
FECHA : MAYO DEL 2,017

CUADRO DE RESULTADOS

CALICATA	DESCRIPCION	PROFUND.	RESULTADOS												
			GRANULOMETRIA				PROPIEDADES INDICES			HUMEDAD	CONSISTENCIA	Valores de Resisitividad		CLASIF.	CLASIF.
MUESTRA	CALLE	MUESTRA m.	MALLA # 4	MALLA #10	MALLA # 40	MALLA #200	L.L %	L.P. %	IP %	NATURAL %	O DENSIDAD	MINIMO Ohm	MAXIMO ohm	SUCS	AASHTO
C-5	JR. JOSE GALVEZ C-4 - JR. CALLAO C-22	0.20-3.00	100.00	98.70	81.8	36.50	31.80	21.60	10.20	14.20	MEDIA	210.00	295.00	SC	A-6(0)
C-8	JR. ORIENTAL C-3 - JR. TUPAC AMARU C-5	0.45-3.00	99.80	99.60	90.5	47.30	34.40	21.20	13.20	20.30	MEDIA	208.00	298.00	SC	A-6(3)
C-9	JR. TUPAC AMARU C-5 - JR. M. PUMACAHUA C-4	0.60-3.00	100.00	99.80	86.3	33.30	32.40	22.40	10.00	10.80	MEDIA	210.00	277.00	SC	A-2-4(0)
C-11	JR. SANTA INES C-2 - JR. VICTORIA VASQUEZ C-6	0.60-3.00	100.00	98.90	85.4	47.30	33.70	20.00	13.70	17.10	MEDIA	202.00	285.00	SC	A-6(4)
Valores de Resistividad ohm =												202	298		

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos – UNSM

4.3. RESUMEN DE LOS LIMITES DE CONSISTENCIA

Cuadro N° 05: Caracterización de suelos por un método no convencional

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS
TELEFONO 521402-ANEXO FICA
TARAPOTO - PERU

TESIS : EVALUACION POR METODOS NO CONVENCIONALES DE CARACTERIZACION DE SUELOS DEL DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA DE SAN MARTIN REGION SAN MARTIN
EJECUTA : BACHILLER ARNOLD ALFONSO RAMIREZ FLORES
UBICACIÓN : DISTRITO DE MORALES, PROVINCIA DE SAN MARTIN, DPTO SAN MARTIN
FECHA : MAYO DEL 2,017

CUADRO DE CARACTERIZACION DE SUELOS POR UN METODO NO CONVENCIONAL

DESCRIPCION DEL SUELO	TIPO DE SUELO	RESISTIVIDAD FINAL		RESISTIVIDAD RECOMENDACIÓN	
	CLASIFICACION SUCS	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO
SUELO ARCILLOSO INORGANICO DE MEDIANA PLASTICIDAD	CL	70	88	70	90
SUELO ARENOSO LIMOSO ARCILLOSO	SM - SC	300	499	300	500
SUELO ARENOSO ARCILLOSO	SC	202	298	200	300

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Pavimentos – UNSM

4.4. ESTADÍSTICAS DESCRIPTIVAS DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO DE SUELOS NO CONVENCIONALES – CLASIFICACIÓN SM – SC

SM-SC	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
RESISTIVIDAD NO CONVENCIONAL_MIN	300,00	355,00	314,8462	19,09994
RESISTIVIDAD NO CONVENCIONAL_MAX	402,00	499,00	473,5385	32,30484
MALLA_200	16,40	34,90	24,2231	5,68978
IP PORCENT (%)	5,00	7,00	6,3462	,59247
HUMEDAD NATURAL	9,30	23,40	15,7077	4,64425
RESISTIVIDAD_CONVENCIONAL	300,00	310,00	303,4615	4,27425
N válido (según lista) (13)				

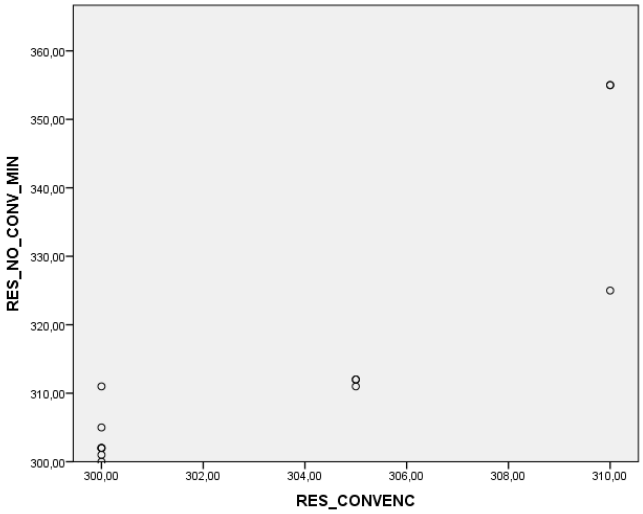
Fuente: Elaboración propia de la investigacion.
[Conjunto_de_datos1] C:\Users\UNSM-FICA\ARNOLD.sav

Correlaciones. SPSS.V.22

CORRELACIÓN SIGNIFICATIVA ENTRE LA RESISTIVIDAD NO CONVENCIONAL Y CONVENCIONAL		RESISITIVIDAD CONVENCIONAL MIN.	RESISTIVIDAD CONVENCIONAL
RES_NO_CONV_MIN	Correlación de Pearson	1	***r = 0,875***
	Sig. (bilateral)		***p = 0,000***
	N	13	13
RES_CONVENC	Correlación de Pearson	***r = 0,875***	1
	Sig. (bilateral)	***p = 0,000***	
	N	13	13

Fuente: Elaboración propia de la investigacion.
[Conjunto_de_datos1] C:\Users\UNSM-FICA\ARNOLD.sav

Gráfico N° 03: Diagrama de dispersión entre los resultados del método tradicional y método no convencional



Se observa en la tabla las estadísticas descriptivas de los resultados, según la clasificación de SM-SC, por cantidad de datos, ya que la teoría indica para analizar la correlación con mayor precisión y confianza, se debe analizar con datos apareados o bidimensionales mínimo de 5.

Se observa, que el promedio de la resistividad no convencional mínima es de 314,85 con una desviación estándar de 19,1. El promedio de la resistividad máxima no convencional es de 473,54 con una desviación estándar de 32,30. Con respecto a la granulometría se ha considerado de la malla 200, cuyo promedio resultó de 24,22 y una desviación estándar de 5,7. En las propiedades de Índice, se ha considerado IP, cuyo resultado promedio es de 6,34 con una desviación estándar de 0,6. Con respecto a la humedad natural el promedio considerado es de 15,71, con una desviación estándar de 4,64. El promedio de la resistividad mínima encontrados en 13 resultados de la misma clasificación como método tradicional es de 303,46, con una desviación estándar de 4,27.

En función a la correlación de los resultados del método no convencional con tradicional o convencional, el programa estadístico arrojó un coeficiente de correlación de 0,875; es decir una alta relación. Esta correlación es altamente significativa, ya que p-value es menor de 0,05 (Si p-value<0,05, entonces, estad´siticamente es significativa la correlación entre los dos resultados); en este caso p=0,000.

V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. ANÁLISIS

5.1.1. GENERALIDADES

Al finalizar el presente trabajo, la información obtenida a partir de los resultados de ensayos durante la etapa de investigación, se resumió finalmente los aspectos más relevantes del proceso de la presente tesis, que nos permite encontrar la características de los suelos dato necesario para cumplir con el objetivo del estudio realizado en el sector.

Los materiales usados para la presente investigación fueron:
Los suelos que se encuentran en el sector.

Equipos de Mecánica de suelos según la Norma Técnica Peruana NTP 339.133.
Telurímetro, para calcular la resistividad.

Todo el procesamiento y la parte experimental han sido realizados, bajo las Normas Técnicas Peruanas.

5.1.2. ENSAYOS PRELIMINARES

Se determinaron las propiedades físicas de los suelos del lugar con el objetivo de clasificarlos.

5.1.3. ENSAYOS DE LABORATORIO

Se ha desarrollado los ensayos de laboratorio de contenido de humedad, límites de consistencia (atterberg), análisis granulométrico, y clasificación de suelos, teniendo en cuenta las normas establecidas vigentes.

Asimismo estos ensayos han permitido determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo de fundación, así como también el tipo de suelo y sus características.

Ensayo de contenido de humedad, varían entre 17.00% a 34%, con un promedio de 25.50% lo que manifiesta una humedad media.

Ensayos de límites de atterberg, varían entre 0 a 20%, con un promedio de 10% lo que es indicador de la presencia de suelos de granulometría fina de los tipos de arenas y arcillas, suelos no plásticos y suelos de mediana plasticidad.

Ensayos granulométricos, presencia de materiales que pasan el tamiz N° 200, entre 16 a 50% indica la presencia de suelos arenoso y arcillosos.

Se realizo el sondeo eléctrico vertical con el objetivo de calcular la resistividad del suelo y poder caracterizarlos de acuerdo al tipo de material.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Se ha determinado la zona de exploración para la investigación, limitada por los: Jrs. Jose Gálvez, Oxapampa, Santa Lucía, en la localidad de Morales.

Se ha demostrado con este trabajo, que mediante prospección geoeléctrica y a través del registro de resistividad real, se puede relacionar la calidad geomecánica de los materiales para diferentes proyectos de ingeniería.

La influencia de la energía de compactación resulta más significativa , donde a mayor energía de compactación menor resistividad eléctrica.

Existe una alta correlación estadísticamente sgnificativa entre los resultados de del meétodo tradicional con el método no convencional. ***r = 0,875*** y ***p<0,05.***

Se concluye en el presente trabajo, que los registros de resistividad real para los perfiles de caracterización identificados se encuentran en el siguiente rango.

CUADRO DE CARACTERIZACIÓN DE SUELOS POR UN MÉTODO NO CONVENCIONAL

DESCRIPCIÓN DEL SUELO	TIPO DE SUELO	RESISTIVIDAD FINAL		RESISTIVIDAD RECOMENDACIÓN	
	CLASIFICACIÓN SUCS	MÍNIMO	MÁXIMO	MÍNIMO	MÁXIMO
SUELO ARCILLOSO INORGÁNICO MEDIANA PLASTICIDAD	CL	70	88	70	90
SUELO ARENOSO LIMOSO ARCILLOSO	SM - SC	300	499	300	500
SUELO ARENOSO ARCILLOSO	SC	202	298	200	300

6.2. RECOMENDACIONES

La calidad del agua, puede llegar a distorsionar la calidad de la interpretación, toda vez las aguas pesadas tienden a disminuir notablemente los registros de resistividad y producir ideas falsas de los materiales presentes en el subsuelo.

Para la refinación del método, en su aplicabilidad para la geotecnia, se sugiere desarrollar trabajos complementarios, de forma que se pueda obtener información adicional de otras formaciones superficiales en su relación con los registros eléctricos verticales.

El encargado de realizar el estudio requiere habilidad para identificar el tipo de formación investigada, dado que las interpretaciones pueden perder validez si no se tiene presentes los cambios laterales y en profundidad.

VII. BIBLIOGRAFÍA

7.1. BIBLIOGRAFÍA

1. Córdova, R., Informe de Ingeniería: "Metodología para la determinación de la capacidad portante del suelo para la cimentación del proyecto de la I.E N° 0101 Luis Walter Alvarado Bartra, Distrito - Chazuta", 2010, Perú.

2. Herrera, J., Informe de Ingeniería: " Metodología para la determinación de la capacidad portante del suelo para la cimentación de una vivienda unifamiliar ", 2010, Perú.

3. Jiménez, J., Tesis de grado: "Zonificación de la capacidad portante del suelo del distrito de la Banda de Shilcayo", 2011, Perú.

4. Juárez, E. & Rico, A., "Mecánica de Suelos", Tomo I, Editorial Limusa, tercera edición, 2005, México.

5. Lambe, W. & Whitman, R., “Mecánica de Suelos”, Editorial Centro Regional de Ayuda Técnica, Agencia para el Desarrollo Internacional (AID), México/Buenos Aires, 1972.

6. Otín, F., Artigas, D., Recolons, J., Comerón, A. & Tejero, F., Canal Bienzobal, “Campos Electromagnéticos”, Ed. UPC 1998.

7. Rocha, C., Tesis de grado: "Zonificación de la capacidad portante del suelo del distrito de Morales ", 2010, Perú.

7.2. LINKOGRAFÍA

1. http: www3.ucn.clFacultadesInstitutoslaboratoriocalicataM2.htm

2. es.wikipedia.org/wiki/Capacidad portante

3. es.wikipedia.org/wiki/Cimentación

4. es.wikipedia.org/wiki/Zonificación

VIII. ANEXOS